



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE RIEGO INTELIGENTE PARA UN CULTIVO
DE ROSAS BASADOS EN IOT**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero en Telecomunicaciones

AUTOR: WELLINGTON OMAR MOREIRA QUIÑONEZ

GABRIELA ALEXANDRA ROCANO CHIMA

TUTOR: ING. MONICA KAREL HUERTA, PhD.

Cuenca – Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Wellington Omar Moreira Quiñonez con documento de identificación N° 0302418611 y Gabriela Alexandra Rocano Chima con documento de identificación N° 0107153975; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 14 de octubre del 2023

Atentamente,

Wellington Omar Moreira Quiñonez

0302418611

Gabriela Alexandra Rocano Chima

0107153975

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Wellington Omar Moreira Quiñonez con documento de identificación N° 0302418611 y Gabriela Alexandra Rocano Chima con documento de identificación N° 0107153975, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Desarrollo de un sistema de riego inteligente para un cultivo de rosas basados en IoT” el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Telecomunicaciones, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 14 de octubre del 2023

Atentamente,

Wellington Omar Moreira Quiñonez

0302418611

Gabriela Alexandra Rocano Chima

0107153975

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Mónica Karel Huerta con documento de identificación N° 0151450426, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DESARROLLO DE UN SISTEMA DE RIEGO INTELIGENTE PARA UN CULTIVO DE ROSAS BASADOS EN IOT, realizado por Wellington Omar Moreira Quiñonez con documento de identificación N° 0302418611 y Gabriela Alexandra Rocano Chima con documento de identificación N° 0107153975, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 14 de octubre del 2023

Atentamente,



Ing. Mónica Karel Huerta, PhD.

0151450426

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos de Wellington Omar Moreira Quiñonez

Agradezco a Dios por dejarme seguir disfrutando de la vida, a mis padres que son un pilar fundamental en todo este proceso, por darme siempre su apoyo incondicional ante cualquier situación. A mis hermanos, Alex, Andres y Erika que siempre estuvieron siempre animándome, dándome consejos para seguir adelante.

A mis amigos por su amistad y en especial a mi compañera Gabriela que compartimos muchos años de felicidad, tristeza y preocupaciones en nuestra época académica. A mis docentes, que compartieron todos sus conocimientos, al Ing. Fernando Guerrero que en todo este proceso académico fue un amigo mas que me impulsaba hacer las cosas de la mejor manera, en especial a mi tutora PhD.

Mónica Huerta que nos acompañó en cada paso de este proceso.

Agradecimientos de Gabriela Alexandra Rocano Chima

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi madre Rosa y hermanos Jessica y Mateo, quienes han sido un apoyo incondicional a lo largo de mi trayecto académico y en la realización de esta tesis. Su amor, paciencia y constante aliento han sido fundamentales para que pudiera alcanzar este logro. A Leonard que sin ser parte de mi familia me apoyo y me cuido como a su hija, apoyándome y alentándome a que nunca me rindiera.

Mis amigos quienes han sido una parte invaluable de mi vida y han contribuido de manera significativa a la culminación de este proyecto en especial a mi compañero Omar quien ha estado a mi lado a lo largo de esta travesía académica, les agradezco por su apoyo constante y su amistad sincera.

Sin dejar fuera a mis docentes que gracias a su dedicación, experiencia y apoyo han sido fundamentales para el desarrollo y éxito de este trabajo, destacando a mi tutora

PhD. Mónica Huerta ya que sin su orientación experta y su compromiso con este proyecto no hubiera sido posible culminarlo. Le estoy profundamente agradecida por su contribución a mi desarrollo académico y por ser una mentora ejemplar.

DEDICATORIAS

DEDICATORIA

Dedicatoria de Wellington Omar Moreira Quiñonez

A mi familia, especialmente a mi madre Ketty, padre Weillington, a mis hermanos, Alex, Andrés, Erika y en especial a mis sobrinos Aaron y Mare, que siempre me apoyaron en este proceso académico.

Dedicatoria de Gabriela Alexandra Rocano Chima

A mi madre Rosa, a mis hermanos Jessica y Mateo y mis tíos Andres y Luis quienes han sido mi fuente de inspiración, apoyo y amor incondicional a lo largo de mi vida y mi educación.

Índice general

Agradecimientos	I
Dedicatorias	III
Índice General	IV
Índice de figuras	VIII
Índice de tablas	IX
Resumen	X
Abstract	XI
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos	3
2. MARCO TEORICO	4
2.1. Cultivos de Rosas en Ecuador	4
2.1.1. Requerimientos de Humedad y Temperatura del Suelo en Cultivos de Rosas	6
2.1.2. Requerimientos de Consumo de Agua	7
2.2. Sistemas de Riegos	8
2.3. Internet de las Cosas (IoT)	9
2.3.1. Long Range (LoRa)	11

2.3.2.	Amazon Web Service (AWS)	12
2.3.3.	Chirpstack	13
3.	MARCO METODOLÓGICO	15
3.1.	Módulos y Sensores	15
3.1.1.	Cube Cell HTCC-AB01	15
3.1.2.	Sensor de Humedad y Temperatura DHT11	16
3.1.3.	Sensor de Humedad Anticorrosivo FC-38	17
3.1.4.	Elevador de Voltaje MT3608	19
3.1.5.	Pantalla OLED	20
3.1.6.	TP4056	21
3.1.7.	Modulo Relé	22
3.1.8.	Electroválvula	23
3.1.9.	Fuente de poder de 12V	24
3.2.	Gateway Lora Milesight UG67	25
3.3.	Placa PCB	26
3.4.	Cajas o Nodos	27
3.5.	Consumo de Corriente del Nodo	28
3.6.	Esquema de Comunicación	29
3.6.1.	Comunicación desde el Cube Cell hacia los Módulos y Sensores	29
3.6.2.	Topología de la Red	29
3.6.3.	Sistema de Alimentación	30
3.7.	Ubicación del Invernadero de Rosas	31
4.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	34
4.1.	Creación de los Perfiles para los Dispositivos	34
4.2.	Interfaz en Chirpstack	38
4.3.	Ubicación del Gateway y Nodos	39
4.4.	Recepción de Datos	41
4.4.1.	Análisis de los resultados	42
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	VI
Glosario	48
Referencias	57

Índice de figuras

2.1. Invernadero de rosas [28]	5
2.2. Requerimientos edafoclimaticos del cultivo de rosas[33]	7
2.3. IoT aplicado en la agricultura [48]	11
2.4. Tecnología LoRa [54]	12
2.5. Servicios que Presta AWS [56]	13
3.1. Cube Cell HTCC-AB01 [60]	16
3.2. Sensor de Humedad y Temperatura DHT11 [64]	17
3.3. Sensor de humedad FC-38 [66]	19
3.4. Elevador de voltaje MT3608 [68].	20
3.5. Pantalla Oled [70]	21
3.6. Cargador de batería TP4056 [72].	22
3.7. Modulo Relé [73]	23
3.8. Electroválvula [75]	23
3.9. Fuente de alimentación de 12V [76]	24
3.10. Gateway Milesight [78]	26
3.11. Placa en vista 2D (Diseño Reutilizado) [58].	27
3.12. Parte Interna del Nodo.	28
3.13. Nodo (Caja Cerrada).	28
3.14. Esquema de comunicación del Cube Cell hacia los dos sensores.	29
3.15. Topología Estrella de la Red.	30
3.16. Esquema de alimentación eléctrica para la Red.	31
3.17. Ubicación de FlorLago - Imagen Satelital desde Google Maps.	32
3.18. Ubicación de los Nodos y el Gateway - Imagen Satelital desde Google Maps.	33

4.1. Perfil del Dispositivo	35
4.2. Perfil de Dispositivo OTAA:CODEC.	36
4.3. Aplicación de Chirpstack.	36
4.4. Creación de un nuevo dispositivo OTAA.	37
4.5. Application Key para OTAA.	37
4.6. Interfaz de Chirpstack.	38
4.7. Interfaz que muestra las especificaciones de los nodos.	38
4.8. Ubicación del Gateway.	39
4.9. Mapa de Ubicación de los Nodos y la Electroválvula en el Invernadero 11 [58]	39
4.10. Instalación de los Nodos en el invernadero 11 para las Pruebas.	41
4.11. Datos Visualizados en el Chirpstack.	41
4.12. Datos descargados en Archivo .json.	43
4.13. Tasa de Evaluación de la Temperatura	44
4.14. Tasa de Evaluación de la Humedad	45

Índice de tablas

2.1. Regiones en la que trabaja LoRa	14
3.1. Consumo de Corriente por Módulo (mA)	28
4.1. Datos del Nodo 1	45
4.2. Datos del Nodo 2	45
4.3. Datos del Nodo 3	45

Resumen

En la actualidad, uno de los principales desafíos que enfrentan los cultivadores de rosas se relaciona con la optimización en el uso del recurso hídrico. Los métodos de riego convencionales resultan ineficientes, lo que impacta negativamente en la calidad y el rendimiento de la cosecha, convirtiendo el riego en un componente crítico de la agricultura. En respuesta a esta problemática, el presente trabajo se enfocó en la implementación de un sistema de riego inteligente basado en IoT para cultivos de rosas. Este sistema implica la integración de sensores, actuadores, dispositivos de comunicación y un sistema central de control. Los sensores ubicados en el suelo miden parámetros como la humedad del suelo y la temperatura, cuyos datos son adquiridos y transmitidos mediante la tecnología LoRaWAN. Los sensores fueron desplegados en un invernadero en la florícola FlorLago. Además, se incorporó una pantalla OLED que permita visualizar los datos recolectados. El módulo Cube-Cell se empleó para la lectura de los sensores y la comunicación LoRa. Se configuró para establecer conexiones tanto con un Gateway como con la plataforma Chirpstack, lo que permitió la visualización de los datos en Internet. La implementación se llevó a cabo utilizando tres nodos, colocados estratégicamente en el invernadero para lograr una cobertura óptima. Las pruebas realizadas determinaron los intervalos de envío de datos a la plataforma Chirpstack, se observó que a medida que el dispositivo pasa más tiempo en modo de bajo consumo de energía, existe un riesgo de desconexión de la red.

Palabras clave: Cultivos de rosas; sistemas de riego; LoRaWAN; OLED; Cube-Cell; Gateway; IoT,

Abstract

Currently one of the main obstacles facing rose growers involves the optimization of water resource utilization, conventional irrigation methods can be inefficient which ultimately affects the quality and yield of the rose crop, becoming irrigation a critical part of agriculture. For this reason, in the following work, the implementation of an IoT-based smart irrigation system for roses will be carried out. The system involves the integration of sensors, actuators, communication devices and a central control system. The sensors installed in the soil measure parameters such as soil moisture and temperature, which were captured and transmitted through LoRaWAN technology. Nodes designed for soil nutrition in a rose crop were used to obtain these parameters. An OLED screen was also used to display the collected data. The Cube-Cell module was used for sensor reading and LoRa communication, configured to establish a connection with both a Gateway and the Chirpstack platform, thus allowing the visualization of the data on the Internet. Three nodes were used, which were strategically placed in order to have greater coverage in greenhouse, with the tests performed it was possible to determine the intervals for sending data to the Chirpstack platform, in which it was observed that as the device spends more time in low power consumption mode, there is a risk of disconnection from the network and another aspect to take into account is the environmental interference which causes the data transmission time to lengthen.

Keywords: Rose cultivation; irrigation systems; LoRaWAN; OLED; Cube-Cell; Gateway;IoT

Capítulo 1

Introducción

1.1. Antecedentes

Uno de los desafíos más significativos a los que se enfrentan los productores de rosas es la eficiencia en el manejo del agua. Los métodos de irrigación convencionales suelen ser ineficaces y costosos, afectando negativamente tanto la calidad como la productividad de la cosecha de flores. Además, la variabilidad climática y la limitada adaptabilidad en los horarios de riego pueden incrementar los costos de producción y mermar la calidad de las rosas [1], [2]. Para mitigar estos problemas, se han adoptado sistemas de riego por goteo y sistemas de riego por aspersión, comúnmente para proporcionar agua a las plantas de manera eficiente y controlada. Además, se han desarrollado sensores y dispositivos de monitoreo para medir la humedad del suelo, la temperatura y otros factores que afectan el crecimiento y la salud de diferentes tipos de cultivo, como cacao [3], café [4], maíz [5], entre otros [6].

Para el caso de las flores, existen varios estudios enfocados en monitorear variables climáticas aplicando la tecnología, como es el caso de las orquídeas [7], [8], flores de melocotones [9], flores ornamentales [10], entre otras. Otro desafío importante que enfrentan los productores de flores, en particular los productores de rosas, es la necesidad de garantizar la calidad y la durabilidad de sus productos. Los compradores de flores de rosa esperan un alto nivel de calidad y apariencia uniforme en todas las flores que compran. Para cumplir con estas expectativas, los productores deben controlar cuidadosamente el crecimiento y la evolución de las plantas para

garantizar que se manejen y almacenen adecuadamente antes de la venta [11]. En este contexto, hay una necesidad de seguir desarrollando tecnologías y sistemas de manejo de cultivos para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad del cultivo de rosas [12]. Un enfoque prometedor es el uso de tecnologías de Internet de las cosas (IoT) para crear sistemas de riego inteligentes que puedan ajustar automáticamente la cantidad y ajustar el momento del riego de acuerdo a las condiciones climáticas y los requerimientos específicos de la planta [13], [14], [15]. Este tipo de tecnología podría ayudar a optimizar el uso del agua y reducir el riesgo de enfermedades y plagas, mejorando la productividad y la rentabilidad del cultivo [16],[17], [18].

1.2. Justificación

La tecnología con el pasar de los años a lo largo del tiempo, se ha avanzado constantemente con el fin de encontrar respuestas a los desafíos que se presentan en la vida diaria. Hoy en día existen varios sistemas de riego inteligente para diferentes tipos de cultivos. Los sistemas de riego que utilizan las florícolas son importantes porque proporcionan la cantidad óptima de agua y nutrientes a las plantas en el momento que estas los requieran. Este trabajo se centrará en el cultivo de rosas, ya que es la variedad de flor más exportada en Ecuador, con el objetivo de mejorar tanto la calidad como el rendimiento de su producción, lo cual puede ser beneficioso en términos de calidad y productividad floral. Diversas investigaciones han evidenciado que la adopción de un sistema de riego inteligente conlleva varios beneficios, como la disminución del consumo de agua y energía, la preservación del entorno ambiental, entre otros aspectos positivos [19]. También posibilita la disminución del derroche de agua y la reducción de la contaminación tanto del suelo como del agua, lo que contribuiría de manera significativa a la preservación del entorno natural. Los sistemas de riego tradicionales presentan problemas de eficiencia y pueden ocasionar tanto exceso como insuficiencia de riego en los cultivos, lo que conlleva una disminución en la calidad de las rosas y un aumento en los costos de producción. Un sistema de riego inteligente basado en IoT tiene el potencial de optimizar la cantidad de agua suministrada a los cultivos de rosas, lo que podría mejorar la calidad y cantidad de

flores producidas, reducir los gastos y promover la sostenibilidad en la producción. Además, la implementación de tecnologías de IoT en la agricultura es un campo en constante crecimiento, lo que subraya la relevancia y actualidad de desarrollar un sistema de riego inteligente para el cultivo de rosas [20], [21], [22].

1.3. Objetivos

- Desarrollar un sistema de Riego Inteligente para el cultivo de rosas basado en IoT.

Objetivos específicos:

- Estudiar el estado del arte relacionado con los cultivos de rosas, consumo de agua en los cultivos de rosas, así como, los sistemas de monitoreo y riego basados en IoT.
- Diseñar un sistema que permita procesar y visualizar los parámetros de los datos adquiridos de humedad y temperatura en el suelo del cultivo.
- Implementar el sistema de riego inteligente para rosas basado en IoT. Realizar pruebas de funcionamiento y cobertura.

Capítulo 2

MARCO TEORICO

En este capítulo, se analiza la producción de rosas en Ecuador y sus características, incluyendo las condiciones óptimas de humedad y temperatura. También, se aborda el consumo de agua en la agricultura y su aplicación en el contexto de Internet de las Cosas (IoT) en sistemas de riego. Además, se detallan las tecnologías que se emplearán en la implementación del proyecto.

2.1. Cultivos de Rosas en Ecuador

Ecuador posee una diversidad de variedades de rosas gracias a su clima propicio y su próspera actividad en la producción de flores. A nivel mundial, Ecuador sobresale al ser uno de los exportadores principales de rosas. En las últimas décadas, la industria de las rosas en Ecuador ha experimentado un notable incremento, consolidándose como un líder en el mercado global de flores, especialmente en lo que respecta a las rosas [23],[24].

Algunas características importantes de las rosas para su exportación son:

- Diversidad de tipos y tonalidades: En Ecuador, se encuentra una amplia variedad de especies de rosas y una rica paleta de colores, la cual ayuda a cumplir con todas las demandas o pedidos de los mercados internacionales [25].
- Condiciones climáticas favorables: El clima ecuatoriano es propicio para el cultivo de rosas, ya que ofrece temperaturas moderadas y una exposición solar

adecuada. Además, la altitud y la ubicación geográfica del país proporcionan condiciones ideales para el crecimiento, lo que contribuye a la alta calidad de las flores producidas [26].

- Tecnología de vanguardia y métodos de cultivo innovadores: La industria de las rosas en Ecuador ha incorporado tecnologías de última generación y prácticas de cultivo innovadoras para potenciar la producción y garantizar la calidad de las flores. Estas innovaciones engloban el empleo de invernaderos, sistemas de riego eficaces y estrategias de gestión integrada de plagas y enfermedades, entre otras [26].
- Ingreso a mercados globales: Ecuador ha forjado relaciones comerciales sólidas con múltiples naciones en todo el mundo, lo que le habilita para enviar sus rosas a variadas ubicaciones. Entre los principales destinos de exportación para las rosas ecuatorianas se encuentran Estados Unidos, Rusia, Países Bajos, Reino Unido y diversas naciones en las regiones de Europa y Asia [27].

La exportación de rosas en Ecuador no solo ha generado ingresos significativos para el país, sino que también ha impulsado el desarrollo de empleo en las zonas rurales, donde se encuentran concentradas las plantaciones de rosas [27]. En la figura 2.1 se puede apreciar un cultivo típico de rosas en un invernadero.



Figura 2.1: Invernadero de rosas [28]

2.1.1. Requerimientos de Humedad y Temperatura del Suelo en Cultivos de Rosas

La salud y el desarrollo de las rosas se ha visto significativamente afectados por diversos factores pero unos de los principales es por la humedad y la temperatura del suelo, lo cual subraya su importancia como factores cruciales para tener en cuenta. A continuación, se detallan los intervalos de humedad y temperatura óptimos para el cultivo de rosas [29]:

■ Humedad del suelo

Las rosas requieren de un suelo moderadamente húmedo pero bien drenado. El exceso de agua puede provocar problemas de raíz y enfermedades, mientras que la falta de agua puede afectar el desarrollo de las plantas [29].

El riego debe ser lo suficientemente frecuente para mantener el suelo ligeramente húmedo, pero evitando el encharcamiento. Para evitar posibles complicaciones relacionadas con la putrefacción de las raíces, es esencial dejar que la parte superior del suelo se seque adecuadamente entre los ciclos de riego [29].

La profundidad de riego adecuada para las rosas es generalmente de 15 a 30 cm, lo que permite que las raíces se expandan y absorban agua de manera efectiva [30].

■ Temperatura del suelo

Las rosas requieren temperaturas del suelo adecuadas para un crecimiento saludable. Las temperaturas frías pueden ralentizar el crecimiento de las raíces, mientras que las temperaturas demasiado altas pueden causar estrés en las plantas [31].

Por lo general, las rosas prosperan mejor cuando la temperatura del suelo se encuentra en el intervalo de 15 °C a 25 °C, ya que este rango promueve un desarrollo saludable de las raíces y un crecimiento robusto de las plantas [32].

En climas fríos, es beneficioso aplicar mantillo orgánico alrededor de las rosas para ayudar a mantener una temperatura del suelo más estable y proteger las raíces del frío extremo [31], [32].

En la figura 2.2 se puede apreciar los requerimientos edafoclimaticos necesarios para el cultivo de las rosas.

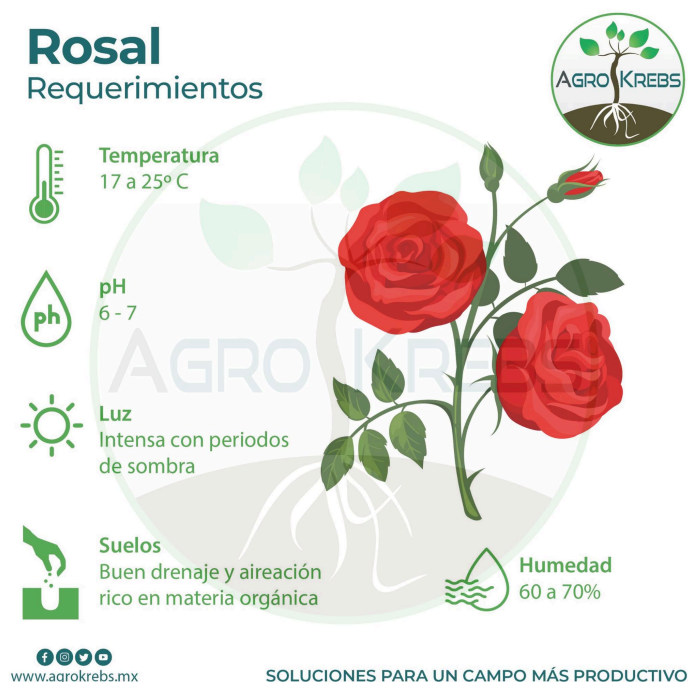


Figura 2.2: Requerimientos edafoclimaticos del cultivo de rosas[33]

2.1.2. Requerimientos de Consumo de Agua

El uso de agua a nivel mundial es un tema de gran importancia. Entre los años 1960 y 2010, duplicó el consumo de agua, llegando en la actualidad a la cantidad de 1970 kilómetros cúbicos por año. La mayor parte de este aumento se atribuye al riego agrícola, el cual ha tenido gran crecimiento comparándolos con los últimos años [34]. El agua desempeña una función esencial en la producción agrícola y la garantía de seguridad alimentaria, ya que el riego agrícola se extiende por aproximadamente el 20 por ciento de las áreas cultivadas y contribuye con alrededor del 40 por ciento de la generación de alimentos. Cabe recalcar que el consumo de agua en el proceso del riego es muy elevada a comparación de otros tipos de consumos [35].

Sin embargo, se prevé que la lucha por los recursos hídricos se vera en decaimiento en los siguientes años debido a su aumento poblacional, el proceso de urbanización y así como también afectan los cambios climáticos, lo que tendrá consecuencias considerables en el ámbito agrícola [36]. Se calcula que la población

global alcanzará los 10 000 millones de personas hacia el año 2050, y será esencial satisfacer las demandas de alimentos y productos textiles tanto en zonas urbanas como rurales. Además, se prevé que la producción agrícola deberá incrementarse alrededor de un 70 por ciento en los próximos 40 años [37].

Para hacer frente a esta futura necesidad de agua, será esencial redistribuir los recursos hídricos, asignando aproximadamente entre el 25 y el 40 por ciento a actividades más eficientes y generadoras de empleo, especialmente en áreas que enfrentan una escasez de agua. En la mayoría de las situaciones, esta redistribución se originará principalmente en el sector agrícola, el cual actualmente representa en promedio alrededor del 70 por ciento del consumo total de agua dulce extraída en el planeta, y una proporción aún mayor del uso consumido del agua"debido a la evaporación y transpiración de los cultivos [38].

Es esencial tomar medidas para gestionar de manera eficiente el agua en la agricultura, tales como la implementación de técnicas de riego de mayor eficiencia, la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y la adopción de estrategias de conservación del agua. Estas acciones contribuirán a asegurar un uso responsable de los recursos hídricos y a enfrentar los desafíos futuros en términos de disponibilidad de agua para la producción de alimentos [39].

2.2. Sistemas de Riegos

Los sistemas de riego de rosas son herramientas utilizadas para suministrar agua de manera eficiente a las plantas de rosas, asegurando su adecuado crecimiento y desarrollo. A continuación, se describen algunos de los sistemas de riego más comunes en cultivos de rosas [40], [41]:

- **Riego por goteo:** Este sistema proporciona agua directamente a las raíces de las rosas mediante pequeños emisores de goteo. El agua se libera lentamente en el suelo, lo que permite una absorción eficiente y minimiza el desperdicio de agua.
- **Riego por aspersión:** Este sistema utiliza aspersores que lanzan agua en forma de rocío o chorros. Los aspersores se colocan en posiciones estratégicas para

asegurar una cobertura uniforme. Es importante ajustar correctamente la presión y la dirección del aspersor para evitar el riego excesivo o insuficiente.

- **Riego por micro aspersion:** Similar al riego por aspersion, pero con boquillas de menor tamaño que liberan un flujo de agua más suave. Este sistema es útil para cubrir áreas más pequeñas o macizos de rosas.
- **Riego subterráneo:** En este sistema, los tubos de riego se entierran debajo del nivel del suelo, y el agua se distribuye directamente en la zona radicular de las rosas. Este método ayuda a minimizar la evaporación y el contacto del follaje con el agua, lo que reduce el riesgo de enfermedades.
- **Riego automático:** Estos sistemas permiten programar horarios de riego y la duración de la irrigación. Pueden estar basados en temporizadores o en sensores de humedad del suelo, que determinan cuándo es necesario regar según el nivel de humedad detectado.
- **Riego manual:** El riego manual implica el uso de una manguera o regadera para proporcionar agua a las rosas. Si bien puede ser más laborioso, brinda un mayor control directo y permite una observación cercana de las plantas.

Es importante tener en cuenta que las necesidades de riego pueden variar según la ubicación, el clima, el tipo de suelo y las características específicas de las rosas. Por lo tanto, es recomendable adaptar el sistema de riego según las particularidades del entorno local y los requerimientos específicos de cada planta [29].

2.3. Internet de las Cosas (IoT)

Internet de las cosas se basa en la conexión entre dispositivos a través de internet, permitiéndoles transmitir y recibir datos de manera automática. En esencia, IoT se basa en la noción de vincular cualquier objeto físico con la capacidad de procesar información y comunicarse con la red, lo que les confiere la capacidad de interactuar con otros dispositivos y sistemas sin la intervención del hombre [42].

La meta primordial de IoT es establecer un entorno conectado e inteligente en el cual los dispositivos tengan la capacidad de comunicarse mutuamente, adquirir datos del entorno y tomar decisiones fundamentadas en esa información. Estos dispositivos, que se conocen como "dispositivos inteligentes."o "dispositivos conectados", engloban una amplia gama de elementos, que van desde electrodomésticos y sistemas de seguridad hasta sensores medioambientales y maquinaria industrial [43].

Una vez que se capturan los datos de los dispositivos conectados, se transmiten a la nube con el propósito de almacenarlos y procesarlos. La nube ofrece la capacidad de almacenar volúmenes considerables de datos y ejecutar análisis avanzados para extraer información significativa. Los resultados de estos análisis pueden emplearse para tomar decisiones inteligentes, optimizar procedimientos, aumentar la eficacia y crear nuevos servicios [44].

Esta tecnología es muy amplia en distintos sectores como por ejemplo, en el ámbito residencial, los hogares domotizados utilizan dispositivos conectados para gestionar ya sea otros tipos de dispositivos finales como por ejemplos la iluminaciones, la temperatura entre otros. En la industria, el IoT se emplea para el seguimiento y control de procesos, el mantenimiento predictivo. Además, en campos como la atención médica, la agricultura, la energía y el transporte, IoT ofrece soluciones innovadoras y eficaces [45], [46].

Con el continuo avance de la tecnología IoT, se anticipa una creciente proliferación de objetos y dispositivos que se conecten a la red, lo que dará lugar a la generación de enormes cantidades de datos y la formación de un entorno altamente interconectado. Esto tiene el potencial de revolucionar nuestra interacción con el mundo físico y la gestión de recursos, ofreciendo beneficios tanto a nivel individual como global [47].

En la figura 2.3, se pueden apreciar las implementaciones de la IoT en la agricultura, con el propósito de gestionar de manera más efectiva aspectos como la temperatura, el riego, el uso del agua, entre otros.



Figura 2.3: IoT aplicado en la agricultura [48]

La tecnología del IoT se fundamenta en la integración de varios componentes esenciales. En primer lugar, los dispositivos están equipados con sensores y actuadores que les posibilitan recopilar datos del ambiente y responder en consonancia con esa información [49]. Además, estos dispositivos se conectan a través de redes inalámbricas, como Wi-Fi o Bluetooth, o emplean tecnologías de comunicación diseñadas específicamente para IoT, tales como LoRaWAN o NB-IoT [50].

2.3.1. Long Range (LoRa)

El alcance de LoRa (Long Range) puede variar según varios factores, como la potencia de transmisión, la frecuencia utilizada, el entorno de despliegue y las condiciones de propagación de la señal. En condiciones ideales y sin obstrucciones, la tecnología LoRa puede alcanzar distancias de varios kilómetros. Sin embargo, en entornos urbanos densamente poblados o con obstáculos físicos, como edificios altos o terreno accidentado, el alcance puede reducirse significativamente entre 1 a 3 kilómetros en áreas densamente pobladas.

La potencia de transmisión es un factor importante que influye en el alcance de LoRa. Los dispositivos LoRa pueden ajustar su potencia de salida para equilibrar el alcance y el consumo de energía. Cuanto mayor sea la potencia de transmisión utilizada, mayor será el alcance potencial, pero también se consumirá más energía [51].

En general, las bandas de frecuencia más bajas, como las bandas de Europa

y América del Norte, suelen proporcionar un alcance superior en contraste con las bandas de frecuencia más elevadas. Esto se debe a que las señales de frecuencia más baja tienen una mayor habilidad para atravesar obstáculos y penetrar en estructuras. Es importante tener en cuenta que el alcance real de una red LoRa puede variar según las condiciones específicas de implementación. Siempre se recomienda realizar pruebas de campo y evaluaciones en el entorno objetivo para determinar el alcance real y la viabilidad de una red LoRa [52].

Adicionalmente, el despliegue de gateways y el tipo de topología que esta red maneja, pueden influir en la distancia y el área de cobertura de la red LoRa. La colocación estratégica de gateways en una red LoRa tiene el potencial de mejorar la interconexión y extender la cobertura de la red [53]. La figura 2.4 proporciona un resumen de los diversos ámbitos de aplicación donde la tecnología LoRa puede ser utilizada.



Figura 2.4: Tecnología LoRa [54]

2.3.2. Amazon Web Service (AWS)

Amazon Web Services (AWS) se destaca como la plataforma de nube más ampliamente adoptada a nivel mundial, ofreciendo una amplia gama de más de 200 servicios en todo el mundo, como se muestra en la figura 2.5. Los clientes de AWS

son de diversas escalas, desde startups en rápido crecimiento hasta las corporaciones más grandes y organismos gubernamentales de renombre, los cuales aprovechan los servicios de AWS para optimizar costos, aumentar su flexibilidad y acelerar sus procesos de innovación [55].



Figura 2.5: Servicios que Presta AWS [56]

2.3.3. Chirpstack

ChirpStack es una solución de servidor LoRaWAN que se adapta tanto a la creación de redes LoRaWAN públicas como privadas. Este sistema proporciona la gestión de aplicaciones que se quieran generar dependiendo el tipo de de conexión, así como, los diferente tipos de nodos que se utilicen. Además, permite configurar conexiones con otros tipos de servidores en la nube ya sea que estos manejen base de datos u otros servicios. También, ofrece una API basada en gRPC que se puede utilizar para integrar sus capacidades de manera flexible o ampliarlas [57].

La tecnología LoRa opera en frecuencias disponibles que difieren en las funciones que se les vaya a utilizar, proporcionando alternativas de frecuencia específicas según la región [58]. La Tabla 2.1 presenta las zonas geográficas con las frecuencias utilizadas disponibles en la red LoRa que Chirpstack admite para su funcionamiento. Tenemos AS(Asia) que trabaja en frecuencias de 923,923-2 y 923-4 MHz, CN(China) con 470MHz, UE(Unión Europea) con 433 MHz, KR(Korea), US(Estados Unidos) con 915 MHz, AU(Australia) con 915 MHz, IN(India) con 865 MHz y RU(Rusia) con 864 MHz.

Regiones LoRa	Frecuencias Soportadas
AS923, AS923-2, AS923-4	AU915
CN470	CN779
UE433	IN865
KR920	RU864
US915	ISM2400 (LoRaWAN)

Tabla 2.1: Regiones en la que trabaja LoRa

Capítulo 3

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo, se proporciona información acerca de los componentes utilizados en la creación del sistema, incluyendo los módulos y sensores empleados, la interconexión entre estos elementos y la tecnología utilizado como el Gateway Lora Milesight UG67, placa PCB y los nodos. También, se explica la ubicación del Invernadero de Rosas donde se realizarán las pruebas.

3.1. Módulos y Sensores

3.1.1. Cube Cell HTCC-AB01

HelTec CubeCell es una innovadora serie de productos desarrollada por HelTec con el propósito de facilitar la creación de aplicaciones relacionadas con el Internet de las Cosas (IoT) mediante el uso de nodos LoRa/LoRaWAN. La línea CubeCell se basa en la utilización de circuitos integrados ASR605x (ASR6501, ASR6502), que incorporan el MCU de la serie PSoC 4000 (núcleo ARM Cortex M0+) y el transceptor LoRa de Semtech SX1262 [58]. Un aspecto especialmente destacado de esta placa es su completa compatibilidad con Arduino, lo que permite una ejecución fiable del protocolo LoRaWAN, respetando al mismo tiempo las limitaciones específicas de la banda de frecuencias de tu región y las políticas de acceso equitativo a la red (Fair Access Policy), como se muestra en la figura 3.1 [59].

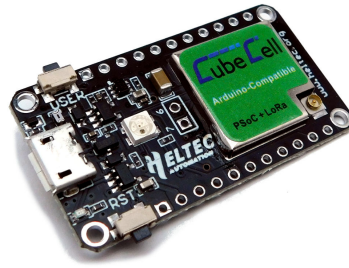


Figura 3.1: Cube Cell HTCC-AB01 [60]

Especificaciones y características [61]:

- Esta placa es compatible con Arduino, lo que significa que es adecuada para su uso en sistemas Windows, Mac OS y Linux.
- Puede configurarse mediante comandos AT para una mayor flexibilidad.
- Incluye un chip CP2102 que permite la comunicación serie a través de USB.
- Está basada en los chips ASR605x.
- Ofrece soporte para la especificación LoRaWAN 1.0.2.
- Presenta un diseño de bajo consumo energético.
- Incorpora un sistema de administración de energía solar que habilita su conexión directa a paneles solares con voltajes de 5-7 V.
- Ofrece una buena correspondencia de impedancia y permite una comunicación a larga distancia.
- Cuenta con las certificaciones CE y FCC.

3.1.2. Sensor de Humedad y Temperatura DHT11

El sensor de humedad y Temperatura DHT11, es una opción económica y fácil de usar para la medición de la temperatura de manera digital. Este dispositivo combina un sensor de humedad capacitivo con un termistor que evalúa las

condiciones del entorno y transmite los resultados en formato digital a través de un pin de datos, sin generar una salida analógica. Este sensor se utiliza para el control automático de temperatura, sistemas de aire acondicionado y el monitoreo ambiental en la agricultura, entre otros usos, como se muestra en la figura 3.2.

Desde el aspecto del software, hay bibliotecas disponibles para Arduino que admiten el protocolo "Single bus". En cuanto a la parte física, solo necesitas unir el cable rojo a una fuente de poder de 3 a 5 voltios, el cable negro a la tierra (0V), y el cable de información a uno de los pines digitales de la placa Arduino. Si se desea unir varios sensores DHT11 a una placa Arduino, cada sensor debe tener su propio cable de información. Se debe tener en cuenta que este sensor solo puede dar nuevos datos cada 2 segundos [62].

Los sensores DHT11 se configuran en la fábrica y almacenan coeficientes de calibración en su memoria OTP, lo que asegura que mantenga su estabilidad y confiabilidad a lo largo del tiempo. La comunicación entre el sensor y el microcontrolador se realiza mediante un solo cable, pero se recomienda que la longitud de este cable no supere los 20 metros, y de preferencia utilizar un cable que tenga protección [62], [63].

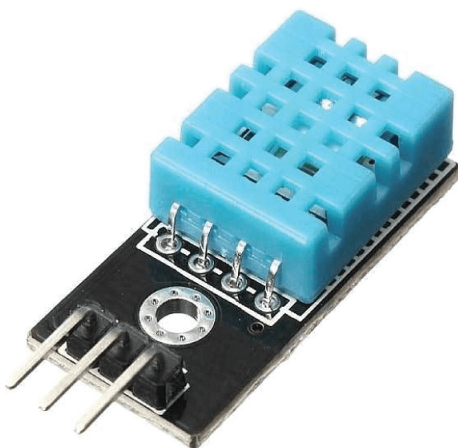


Figura 3.2: Sensor de Humedad y Temperatura DHT11 [64]

3.1.3. Sensor de Humedad Anticorrosivo FC-38

El HD-38, que es un módulo de sensor de humedad del suelo resistente a la corrosión, ha sido diseñado específicamente para supervisar los niveles de

humedad en el suelo de las plantas. Este dispositivo está equipado con sondas que han sido sometidas a un tratamiento especial para protegerlas contra la oxidación, como se puede ver en la figura 3.3. Dicho módulo se compone de una sonda que dispone de dos terminales metálicos, espaciados adecuadamente, y un componente encargado de procesar los datos, generando dos tipos de salidas: una en forma de señal analógica y otra en forma de señal digital. Su aplicabilidad principal reside en la creación de sistemas de riego automáticos, lo que permite que las plantas en el jardín no requieran una supervisión constante por parte de los agricultores. Además, se destaca por ofrecer la ventaja de contar con una sensibilidad ajustable a través de un potenciómetro, como se detalla [65].

Características Principales:

- Módulo de sensor de humedad del suelo HD-38 resistente a la corrosión con sonda metálica.
- Sensibilidad del sensor: De 3.3V a 12V.
- Tiene un consumo de 30 mA.
- Salida A0: Ofrece una señal analógica que cambia según la humedad del suelo y se puede conectar directamente a un puerto analógico de microcontroladores como Arduino u otros dispositivos parecidos.
- Salida D0: Es una salida digital que te permite configurar cuándo la señal cambia de apagado a encendido utilizando un potenciómetro.



Figura 3.3: Sensor de humedad FC-38 [66]

3.1.4. Elevador de Voltaje MT3608

La función principal del MT3608 Boost Step-Up 6W 2A, que se muestra en la figura 3.4, es generar un voltaje de salida mayor que el voltaje de entrada. Esto se puede ajustar en un rango de 5V a 28V. Puede manejar corrientes de hasta 2 amperios y acepta voltajes de entrada entre 2V y 24V. Puedes ajustar el voltaje de salida utilizando un potenciómetro incorporado. Además, se caracteriza por su alta eficiencia en la conversión, su sólido control de estabilidad frente a cambios en el voltaje de entrada y su baja variación en el voltaje de salida [67].

Este Elevador de Voltaje se revela particularmente valioso en proyectos de robótica, donde se requiere mantener niveles de voltaje estables para alimentar microcontroladores y tarjetas de desarrollo [67].

Especificaciones y Características:

- Tipo: Convertidor DC-DC Boost.
- Entrada: 2V a 24V DC.
- Salida: 5V a 28V DC.
- Corriente de salida: Máx. 2A.
- Frecuencia de operación: 1.2MHz.

- Protección de sobre-temperatura: Sí (apaga la salida.)
- Peso: 5 g [68]



Figura 3.4: Elevador de voltaje MT3608 [68].

3.1.5. Pantalla OLED

La pantalla OLED es un pequeño panel gráfico con una resolución de 128 x 64 píxeles, como se muestra la figura 3.5 es el cual posibilita la creación y exhibición de texto y gráficos para generar una interfaz visual [69].

Principio de funcionamiento

- La pantalla OLED TF052 se basa en el circuito SSD1306 y en interfaces que utilizan la comunicación I2C [69].

Esquema

- La pantalla OLED tiene 4 pines que simplifican su manejo.
- Se alimenta a través del microcontrolador y se conecta al bus I2C.
- GND se conecta a la tierra del microcontrolador.
- VCC es el pin de alimentación, normalmente se conecta a la fuente de 3V o 5V del microcontrolador.
- SCL es el pin de reloj para la comunicación en el bus I2C.

- SDA se emplea para la transmisión de datos [69].

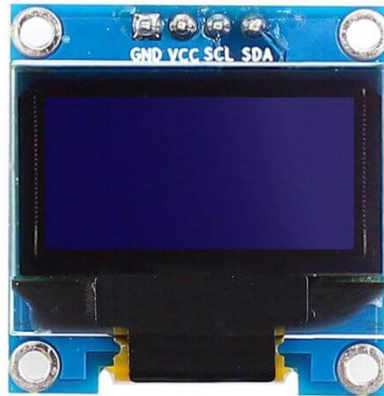


Figura 3.5: Pantalla Oled [70]

3.1.6. TP4056

Este dispositivo es ideal para cargar baterías de litio que trabajan con un voltaje de 3.7 V y un amperaje de 8800 mA. Este módulo incorpora un circuito adicional de protección para asegurar que las baterías no se dañen durante el proceso de carga, como se representa en la figura 3.6.

El módulo utiliza el chip TP4056 junto con el chip de protección de batería DW01. Proporciona una corriente de carga de 1 amperio y se desconecta automáticamente cuando la carga está completa, lo que ayuda a prolongar la vida útil de la batería. Además, si el voltaje de la batería cae por debajo de 2.4V, el chip de protección interrumpe la carga para prevenir que la celda opere a un voltaje bajo, lo que reduce el riesgo de dañar la batería en esas circunstancias [71].

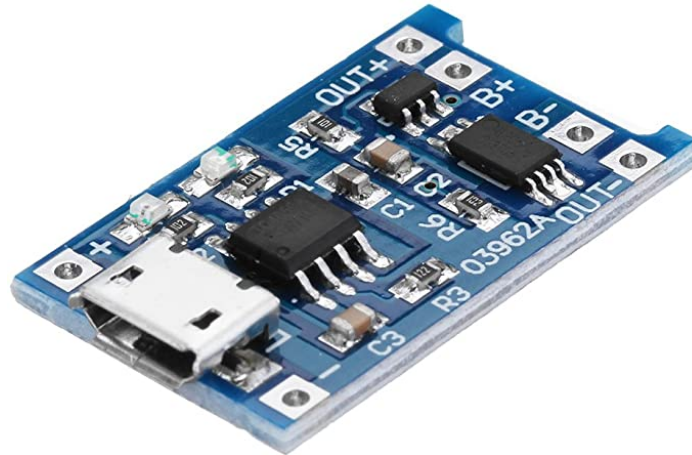


Figura 3.6: Cargador de batería TP4056 [72].

3.1.7. Modulo Relé

Un relé, generalmente electromagnético, funciona al emplear una corriente pequeña para poner en marcha un circuito más grande. En resumen, se utiliza una señal en la entrada para activar otro circuito en la salida sin necesidad de intervención humana.

La operación de los relés se fundamenta en el principio de la inducción electromagnética. Esto implica que cuando la corriente pasa a través de una bobina que rodea un trozo de metal, genera un campo magnético debido a la corriente, transformando el núcleo de metal en un electroimán.

Un módulo de relé es una placa compacta que contiene uno o dos relés, además de una mezcla de resistencias, diodos, transistores y puntos de conexión en forma de terminales de tornillo, como se muestra en la figura 3.7. Puedes establecer conexiones entre los circuitos de entrada y salida utilizando los terminales de tornillo y proporcionar energía utilizando los pines disponibles en el módulo [73].



Figura 3.7: Modulo Relé [73]

3.1.8. Electroválvula

Una electroválvula es un dispositivo electromecánico empleado para regular la circulación de líquidos o gases, como agua, aire, gas, aceite y otros, a través de tuberías o conductos en un sistema. Estas válvulas operan mediante la aplicación de una corriente eléctrica que activa un solenoide, el cual, a su vez, mueve una parte interna de la válvula para abrir o cerrar el paso del fluido.

Las electroválvulas tienen una amplia gama de aplicaciones en la industria y en sistemas de automatización, donde suelen jugar un papel esencial en el control de procesos. Por ejemplo, un sistema de riego automático: En sistemas de riego, las electroválvulas se emplean para gestionar el flujo de agua hacia diferentes áreas de un jardín o campo, permitiendo una irrigación programada y eficiente, en la figura 3.8 se muestra una electroválvula [74].



Figura 3.8: Electroválvula [75]

3.1.9. Fuente de poder de 12V

Una fuente de alimentación de 12 voltios es un dispositivo que proporciona una corriente eléctrica constante a un voltaje de 12 voltios. Los usos más comunes de las fuentes de 12 voltios aplicado en un sistema de riego inteligente son para:

- Alimentar componentes electrónicos.
- Controlar válvulas.
- Operar sensores.
- Sistemas de medición.
- Controlar bombas.
- Permitir la conectividad con sistemas de gestión centralizada.

Todo esto es lo que en conjunto contribuye a un sistema de riego más eficiente y personalizado [76]. En la figura 3.9 se puede visualizar una fuente de poder de 5V a 12V.



Figura 3.9: Fuente de alimentación de 12V [76]

3.2. Gateway Lora Milesight UG67

En el ámbito del Internet de las cosas (IoT), se necesitan dispositivos resistentes de largo alcance, como se muestra en la figura 3.10. El Gateway LoRa Milesight UG67 es una pasarela robusta de LoRaWAN® diseñada específicamente para su uso en entornos exteriores. Utiliza el chip LoRa SX1302 junto con una CPU de alto rendimiento de cuatro núcleos. Esta pasarela UG67 es capaz de conectarse con más de 2000 nodos y tiene un alcance de línea de visión de hasta 15 kilómetros. Además, viene con una carcasa impermeable con clasificación IP67, lo que la convierte en una elección ideal para proyectos relacionados con la agricultura inteligente, la medición inteligente en ciudades inteligentes y diversas aplicaciones al aire libre.

La UG67 no solo es compatible con diversas opciones de respaldo de back-haul, como Ethernet, Wi-Fi y conectividad celular (opcional, consultar), sino que también incorpora servidores de red principales integrados, como TTI, ChirpStack, entre otros, además de contar con un servidor de red integrado Milesight IoT Cloud para facilitar la implementación [77]. Este Gateway presenta las siguientes características:

- Robusta pasarela LoRaWAN® de exterior: Diseñada para resistir condiciones adversas en entornos exteriores.
- Chip LoRa SX1302: Utiliza un chip de última generación para ofrecer una conectividad fiable y de largo alcance.
- CPU de cuatro núcleos de alto rendimiento: Procesador potente que garantiza un rendimiento eficiente y rápido.
- Conexión con más de 2000 nodos: Capacidad de conectar y gestionar una gran cantidad de dispositivos LoRaWAN.
- Ofrece una extensa cobertura en regiones al aire libre sin obstrucciones, alcanzando una distancia visual de hasta 15 kilómetros.
- Cuenta con un diseño que cumple con la clasificación IP67 de impermeabilidad y resistencia al polvo, lo que lo hace apto para ser utilizado en condiciones climáticas adversas.

- Ideal para proyectos de agricultura inteligente: Proporciona una solución confiable para aplicaciones en el sector agrícola.
- Soporte de respaldo de back-haul: Permite la conexión a través de Ethernet, Wi-Fi y opciones celulares (opcional, consultar).
- Se integra sin problemas con servidores de red ampliamente reconocidos, como TTI, ChirpStack, y otros, facilitando la interoperabilidad.
- El servidor de red incorporado Milesight IoT Cloud simplifica la implementación y administración de los dispositivos conectados a través de la pasarela, haciendo que el proceso sea más sencillo y eficiente [78].

Estas características hacen del Lora Gateway MilesightUG67 una opción confiable y versátil para aplicaciones de IoT en exteriores.



Figura 3.10: Gateway Milesight [78]

3.3. Placa PCB

El diseño de la placa, representado en la figura 3.11, se creó basado en . En la elaboración de este diseño, se empleó el software Altium Designer. En esta placa,

se integraron varios módulos, entre ellos Cube Cell, MT3608, MAX485 y TXS0108E, junto con cinco conectores específicamente diseñados para conectar la pantalla OLED. Además de estos componentes, se incorporó, el sensor de humedad FC-38 resistente a la corrosión y el sensor de temperatura DHT11 [79].

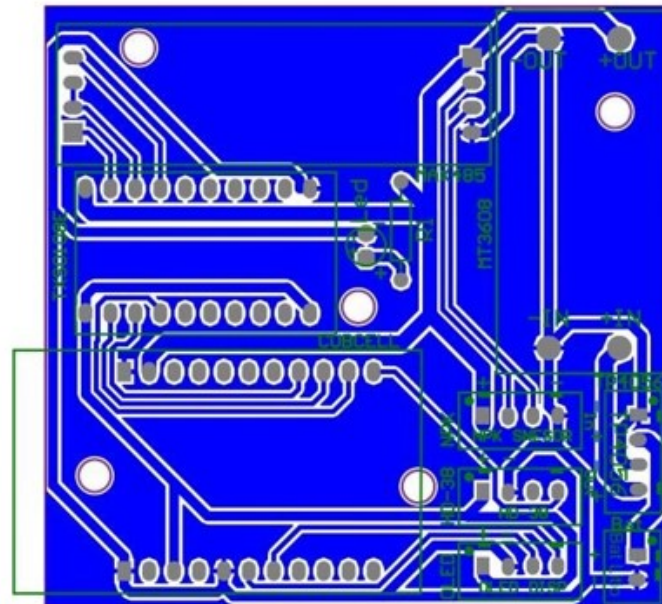


Figura 3.11: Placa en vista 2D (Diseño Reutilizado) [58].

3.4. Cajas o Nodos

Las cajas o nodos fueron construidos inicialmente para medir parámetros relacionados con la nutrición del suelo para un cultivo de rosas y con el fin de poder alojar todos los módulos en un solo lugar haciéndola lo mas compacta posible como se muestra en la figura 3.12. En este caso, se cambiaron algunos sensores para que midan temperatura y humedad de un cultivo de rosas. En la figura 3.13 se puede apreciar la caja totalmente sellada y cerrada.

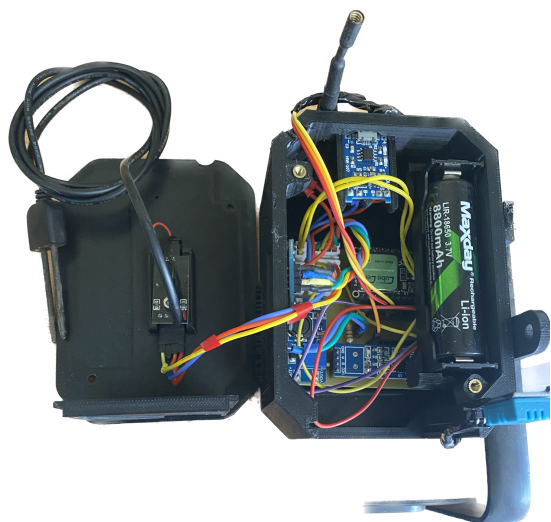


Figura 3.12: Parte Interna del Nodo.



Figura 3.13: Nodo (Caja Cerrada).

3.5. Consumo de Corriente del Nodo

Al realizar un cálculo teórico de la corriente consumida por el circuito, se obtiene que consume 60.135 mA en el modo de reposo y 105.6 mA cuando se encuentra en modo de transmisión, enviando los datos recopilados de los nodos. En la Tabla 3.1, se presenta una representación gráfica del consumo estimado, basado en los valores de corriente consumidos por cada uno de los módulos.

Módulo	Corriente (mA)
Cube Cell (Modo reposo)	0.035
Cube Cell (Modo Tx, 20 dBm)	105
MAXRS485	0.5
Sensor de Humedad	20
Pantalla OLED	40
DHT11	2.5
TP4056	0.1
Consumo Total	
60.135 mA (Cube Cell MODO RESPOSO)	
105.6 mA (Cube Cell MODO TX)	

Tabla 3.1: Consumo de Corriente por Módulo (mA)

3.6. Esquema de Comunicación

3.6.1. Comunicación desde el Cube Cell hacia los Módulos y Sensores

El módulo CubeCell recopila datos que serán adquiridos y transmitidos por varios sensores, como se muestra en la figura 3.14. El primero de estos sensores es un dispositivo que mide la humedad y la temperatura y utiliza una entrada analógica (ADC) para comunicarse con el módulo, tanto para recibir como para enviar la información necesaria. La información recolectada durante un período determinado se almacena en forma de números enteros y se divide en dos variables de tipo byte. Para facilitar esta comunicación, se emplean dos variables: una para la transmisión y otra para el almacenamiento a través de la red LoRa. Inicialmente, se utiliza un arreglo de tipo byte para recibir todos los datos transmitidos por el sensor. Luego, se utilizan variables de tipo entero para conservar los valores concatenados que se mostrarán en la pantalla en un momento posterior [58].

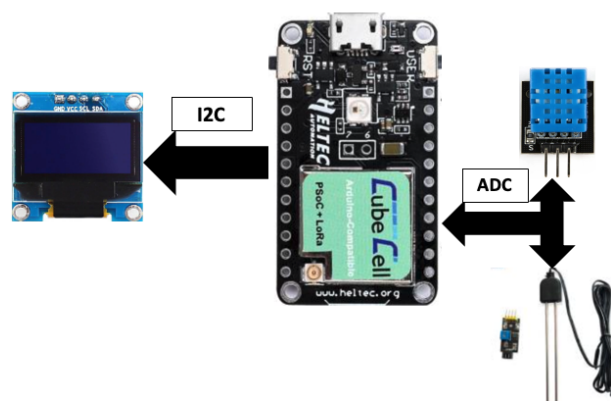


Figura 3.14: Esquema de comunicación del Cube Cell hacia los dos sensores.

3.6.2. Topología de la Red

Se utiliza una configuración de red en forma de estrella para poder establecer la comunicación que se va a tener entre el Gateway y los nodos, como se puede observar en la figura 3.15. En esta disposición, el microcontrolador de cada nodo recopila la información proveniente de los sensores de temperatura y humedad la que luego será

enviada hacia el Gateway utilizando la tecnología LoRa. Dicha tecnología opera en la banda AU915 que viene a estar ubicada en la banda de frecuencia de 915MHz, la cual está autorizada en Ecuador. El Gateway, por su parte, se encarga de retransmitir estos datos hacia la plataforma Chirpstack que está alojada en un servidor de AWS [58].

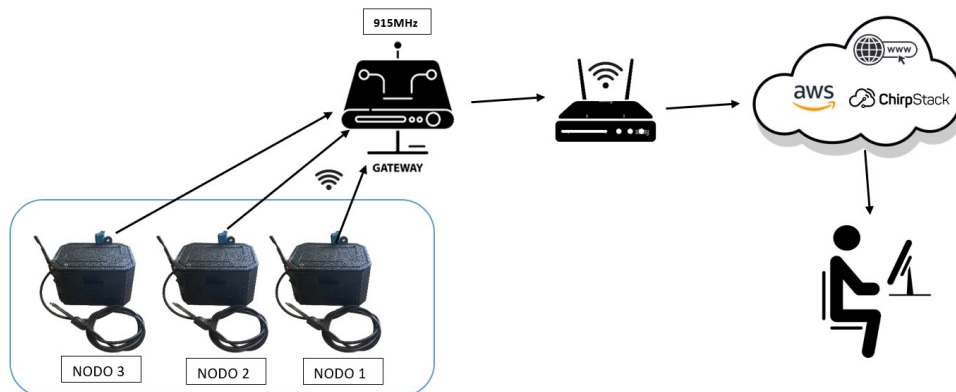


Figura 3.15: Topología Estrella de la Red.

3.6.3. Sistema de Alimentación

Se empleó una batería de litio con una tensión de 3.7V con un amperaje de 8800mA que trabaja en conjunto con un convertidor de voltaje para aumentar el voltaje a 5V y suministrar energía a los diferentes módulos y sensores [79]. La figura 3.16 permite observar el esquema de conexión de alimentación.

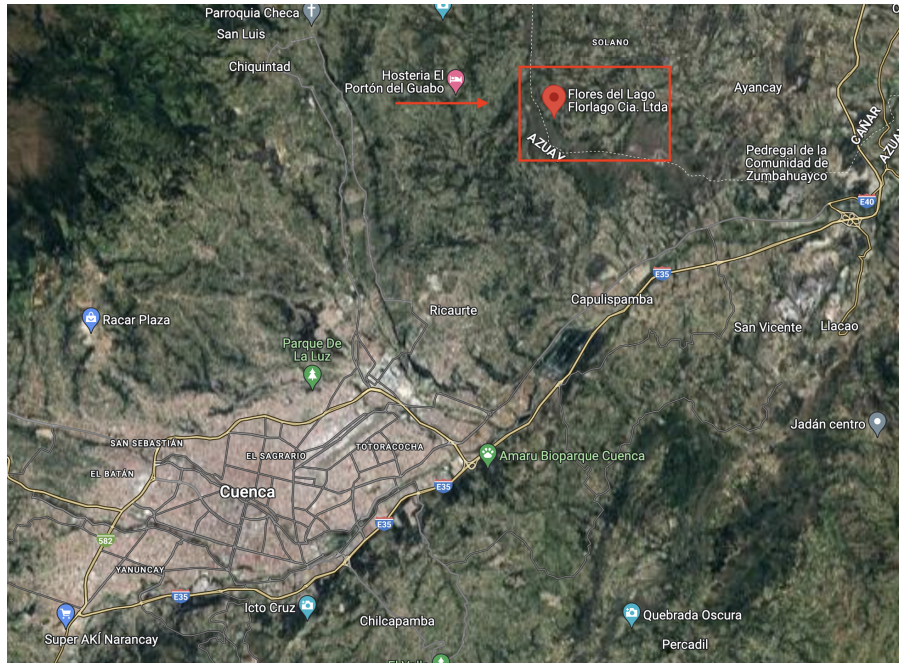


Figura 3.17: Ubicación de FlorLago - Imagen Satelital desde Google Maps.

La elección de este sitio se fundamenta en su proximidad a la ciudad de Cuenca y en su idoneidad para llevar a cabo pruebas de los dispositivos desarrollados, aprovechando la presencia de múltiples invernaderos que albergan diversos tipos de rosas. Para la realización de este proyecto, la floricultura puso a nuestra disposición el invernadero número 11 para llevar a cabo las pruebas. En este invernadero se cultivan dos variedades de rosas: las "Freedom"(rojas) y las blancas. Además, se encuentra ubicado en la posición más alejada con respecto al lugar donde planeamos instalar el Gateway LoRa, como se muestra en la figura 3.18. Esto simplificará la tarea de verificar el envío y recepción de datos.

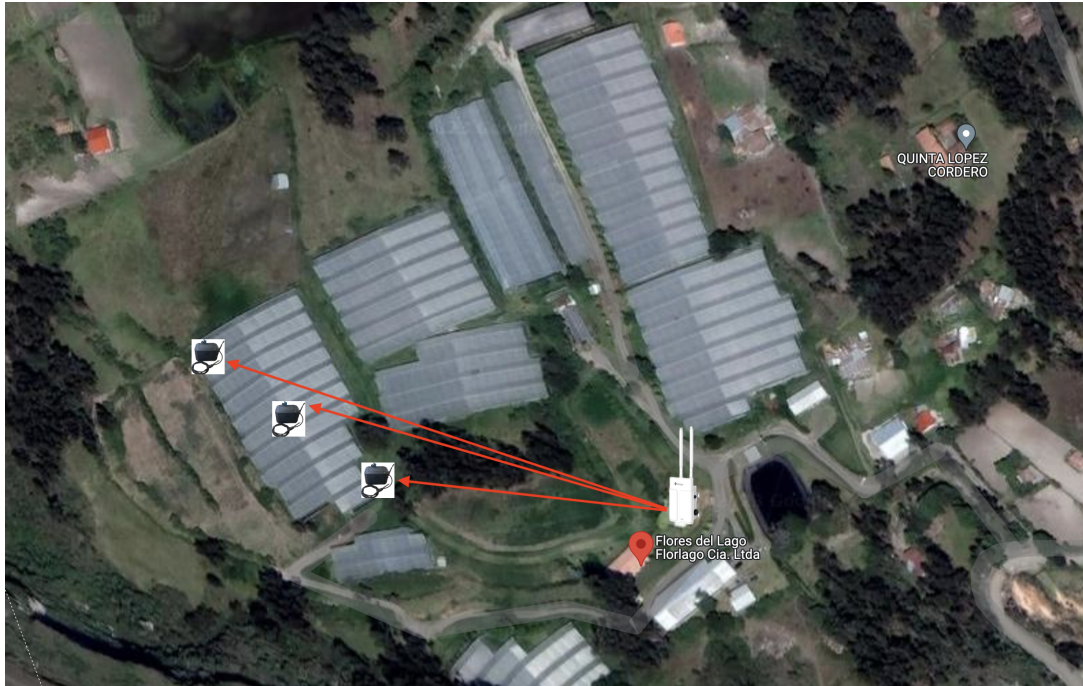


Figura 3.18: Ubicación de los Nodos y el Gateway - Imagen Satelital desde Google Maps.

Capítulo 4

ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se presentan los análisis y resultados partiendo de la creación de los perfiles para los dispositivos en Chirpstack paso a paso y como se usa dicha interfaz. Luego tenemos la ubicación del Gateway y los nodos donde podremos apreciar la recepción de los datos recolectados.

4.1. Creación de los Perfiles para los Dispositivos

Para registrar un dispositivo compatible con OTAA en Chirpstack, el procedimiento inicial involucra la creación de un perfil de dispositivo. Esto se hace seleccionando *Device-Profile* en el menú ubicado en el lado izquierdo de la pantalla, tal como se muestra en la figura 4.1. Luego, en la esquina superior derecha, se elige *Create*, lo que desplegará los campos que deben completarse de acuerdo con las especificaciones del dispositivo utilizado.

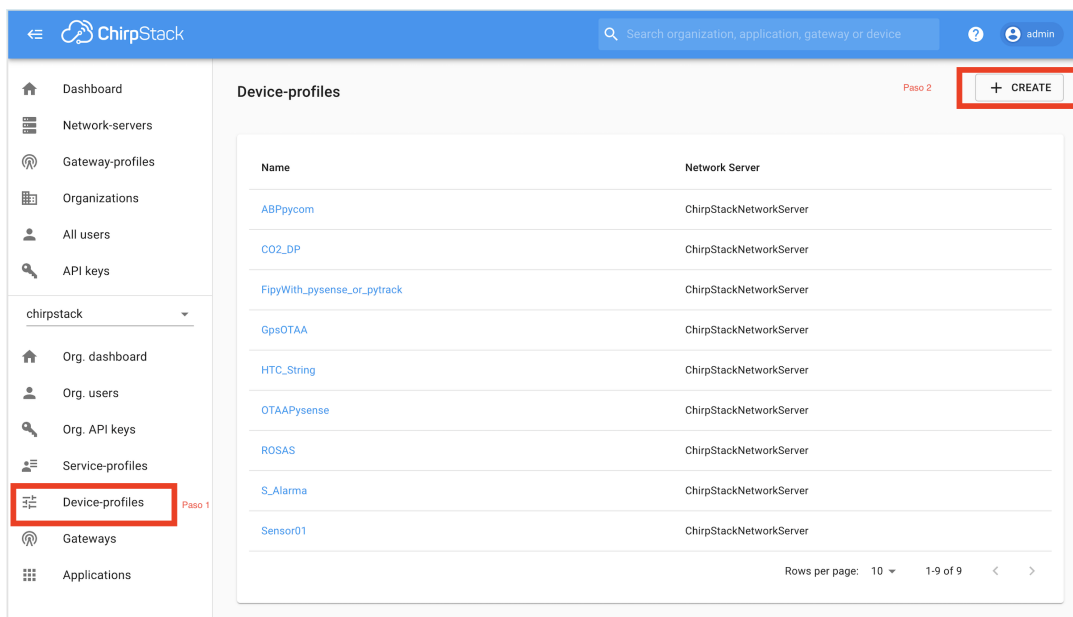


Figura 4.1: Perfil del Dispositivo

Es importante destacar que el tipo de acceso a la red se realizará a través de OTTA. En cuanto a la selección del códec, este determina el formato en el cual Chirpstack interpretará los mensajes que reciba. Además, la función *decode* se utiliza para extraer los datos y comprender cómo están estructurados, mientras que la función *encode* se encarga de codificar los datos para que el receptor pueda entender cómo fueron codificados al principio. En la figura 4.2 se muestra un ejemplo de cómo se realizó la codificación de la información.

```

1 // Decode decodes an array of bytes into an object.
2 // - fPort contains the LoRaWAN fPort number
3 // - bytes is an array of bytes, e.g. [225, 230, 255, 0]
4 // - variables contains the device variables e.g. {"calibration": "3.5"} (both the key / value are of type string)
5 // The function must return an object, e.g. {"temperature": 22.5}
6 function Decode(fPort, bytes, variables) {
7   var hum2 = (bytes[10] << 8 | +bytes[11]) / 100;
8   var temp2 = (bytes[12] << 8 | +bytes[13]) / 100;
9
10  return {
11    Humedad: hum2,
12    Temperatura: temp2,
13  };
14 }
15 }

```

The function must have the signature `function Decode(fPort, bytes)` and must return an object. ChirpStack Application Server will convert this object to JSON.

```

1 // Encode encodes the given object into an array of bytes.
2 // - fPort contains the LoRaWAN fPort number
3 // - obj is an object, e.g. {"temperature": 22.5}
4 // - variables contains the device variables e.g. {"calibration": "3.5"} (both the key / value are of type string)
5 // The function must return an array of bytes, e.g. [225, 230, 255, 0]
6 function Encode(fPort, obj, variables) {
7   return [];
8 }

```

Figura 4.2: Perfil de Dispositivo OTAA:CODEC.

Luego, se crea la aplicación la cual servirá para que todos los nodos del mismo tipo se encuentren en un solo lugar, como se puede observar en la captura de la figura 4.3.

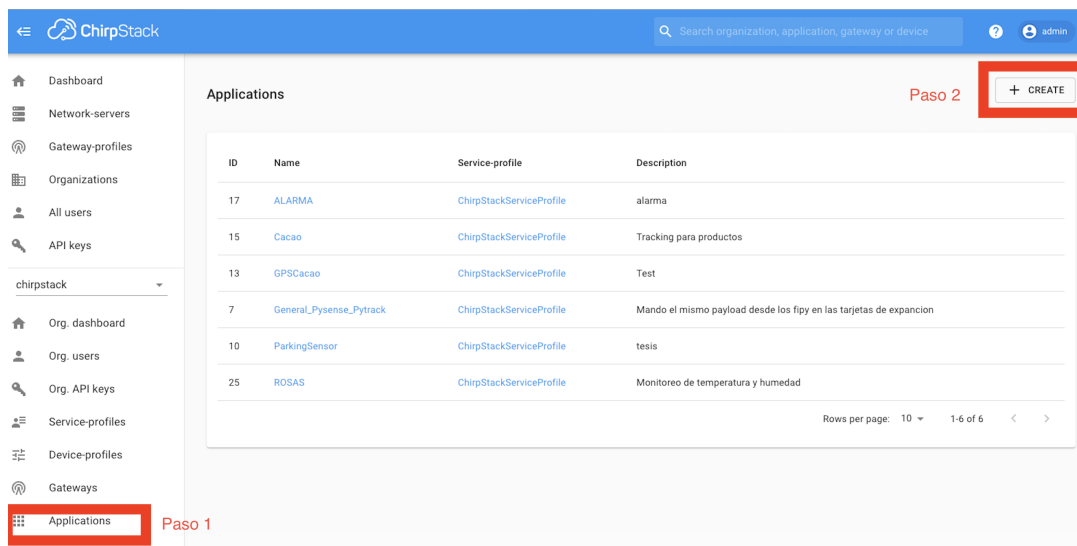
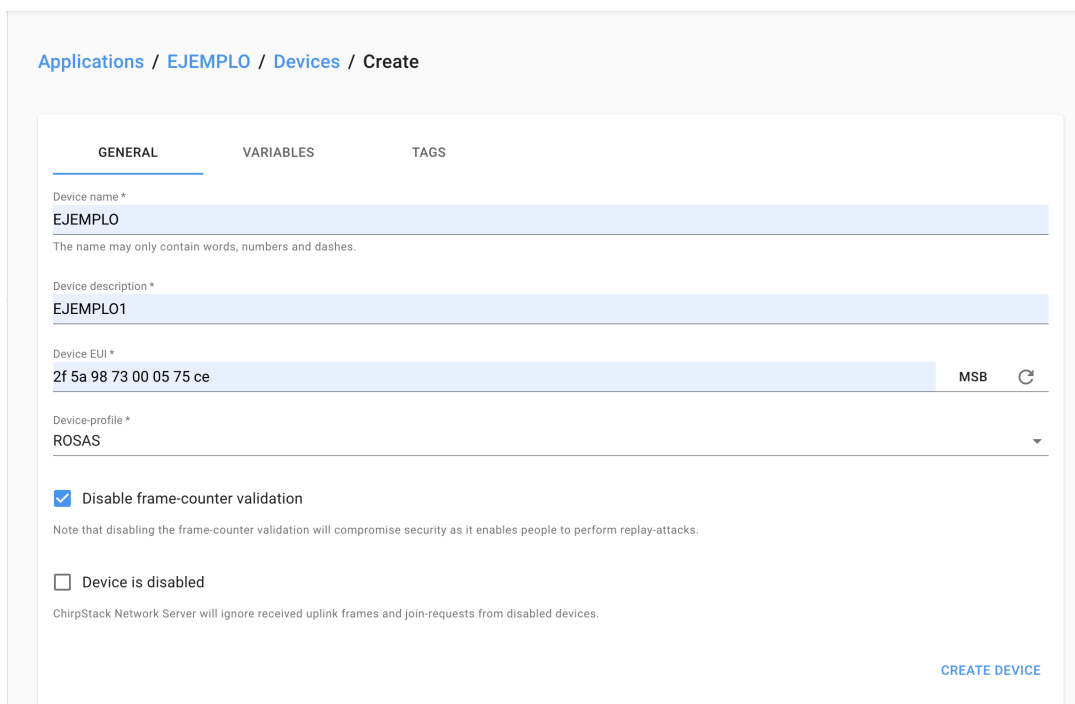


Figura 4.3: Aplicación de Chirpstack.

Una vez creada la aplicación, se añaden los dispositivos a la misma y se completan los campos requeridos. En el caso del Device EUI, se puede programar manualmente o también se puede obtener automáticamente desde el servidor, como se muestra en la figura 4.4.



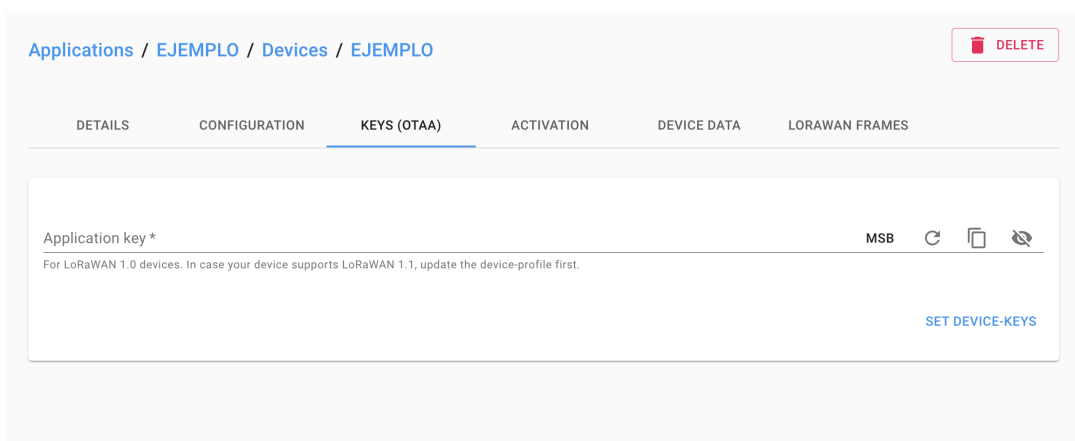
The screenshot shows the 'Create Device' form in the ChirpStack interface. The breadcrumb navigation is 'Applications / EJEMPLO / Devices / Create'. The form has three tabs: 'GENERAL' (selected), 'VARIABLES', and 'TAGS'. The fields are as follows:

- Device name ***: EJEMPLO. A note below states: 'The name may only contain words, numbers and dashes.'
- Device description ***: EJEMPLO1
- Device EUI ***: 2f 5a 98 73 00 05 75 ce. There are 'MSB' and 'refresh' icons to the right.
- Device-profile ***: ROSAS (dropdown menu)
- Disable frame-counter validation**. A note below states: 'Note that disabling the frame-counter validation will compromise security as it enables people to perform replay-attacks.'
- Device is disabled**. A note below states: 'ChirpStack Network Server will ignore received uplink frames and join-requests from disabled devices.'

A 'CREATE DEVICE' button is located at the bottom right of the form.

Figura 4.4: Creación de un nuevo dispositivo OTAA.

En el proceso de activación, tienes la opción de completar el campo *Application Key* utilizando la clave original proporcionada por el vendedor, o bien, puedes obtener una nueva clave a través del servidor y programarla, tal como se ilustra en la figura 4.5.



The screenshot shows the 'Application Key' form in the ChirpStack interface. The breadcrumb navigation is 'Applications / EJEMPLO / Devices / EJEMPLO'. There is a 'DELETE' button in the top right corner. The form has five tabs: 'DETAILS', 'CONFIGURATION', 'KEYS (OTAA)' (selected), 'ACTIVATION', 'DEVICE DATA', and 'LORAWAN FRAMES'. The fields are as follows:

- Application key ***: A text input field with 'MSB', 'refresh', 'copy', and 'paste' icons to the right.
- A note below states: 'For LoRaWAN 1.0 devices. In case your device supports LoRaWAN 1.1, update the device-profile first.'

A 'SET DEVICE-KEYS' button is located at the bottom right of the form.

Figura 4.5: Application Key para OTAA.

4.2. Interfaz en Chirpstack

La figura 4.6 muestra la interfaz en línea de Chirpstack, que se emplea para generar las credenciales correspondientes a los nodos. En el panel izquierdo de la imagen, se puede verificar el estado de conexión de los nodos con el Gateway. Por otro lado, en el panel central, se indica si el Gateway se encuentra en funcionamiento y conectado a la red.

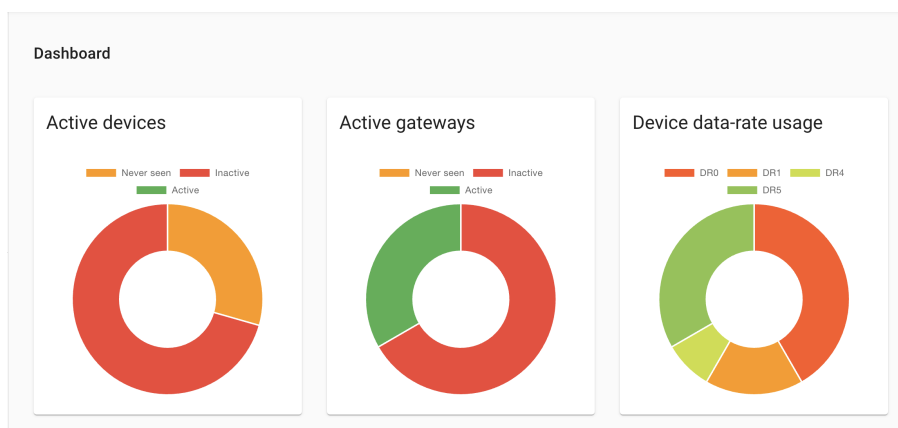


Figura 4.6: Interfaz de Chirpstack.

En la figura 4.7, se muestra la interfaz de la aplicación en la que se han configurado los nodos individuales, incluyendo sus respectivas especificaciones. En la primera columna, se muestra el período transcurrido desde que se activó cada nodo y su estado actual. La segunda columna enumera los nombres de los nodos de manera jerárquica. En la siguiente columna, se presentan las credenciales DEVEUI, las cuales se emplearon para la activación de cada nodo y para habilitar su conexión a través de OTTA.

DEVICES					
Last seen	Device name	Device EUI	Device profile	Link margin	Battery
<input type="checkbox"/> a few seconds ago	NOD01	ca86c194fc31d7d5	ROSAS	n/a	n/a
<input type="checkbox"/> a few seconds ago	NOD02	8bfd8841d09a2d9	ROSAS	n/a	n/a
<input type="checkbox"/> a few seconds ago	NOD03	13c198a0df8c19ff	ROSAS	n/a	n/a

Rows per page: 10 1-3 of 3

Figura 4.7: Interfaz que muestra las especificaciones de los nodos.

4.3. Ubicación del Gateway y Nodos

Se ha instalado el gateway en una torre ubicada en la zona elevada de la floricultura para la recopilación de datos provenientes de los nodos en el invernadero número 11, tal como se aprecia en la figura 4.8. Los nodos, por su parte, han sido posicionados en el invernadero número 11, así como la electroválvula, como se indica en el Mapa de Colocación de los Nodos en el Invernadero, que se presentan en la figuras 4.8 y 4.9.



Figura 4.8: Ubicación del Gateway.

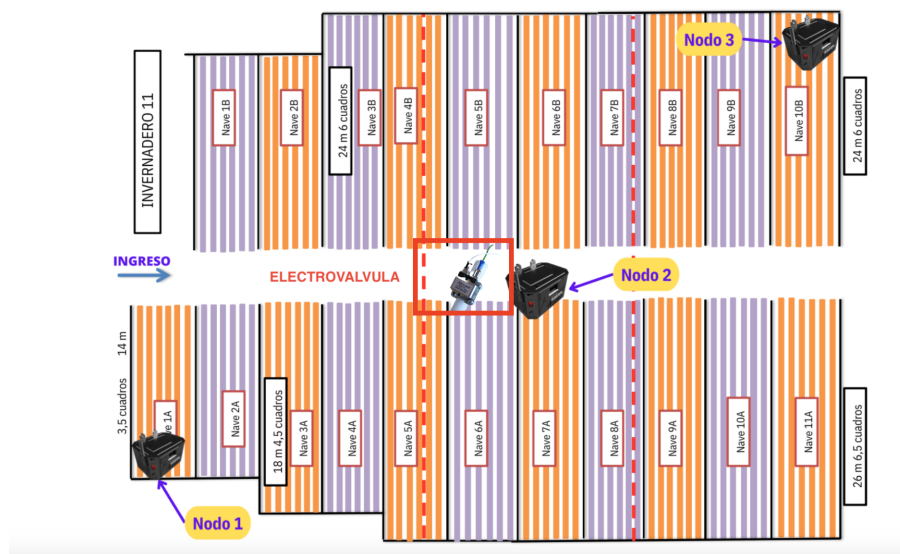


Figura 4.9: Mapa de Ubicación de los Nodos y la Electroválvula en el Invernadero 11 [58]

Se establecieron tres puntos de referencia para la instalación de los nodos en el invernadero. El primer punto de referencia se colocó al inicio del galpón, donde se colocó el nodo 1, como se muestra en las figuras 4.9 y 4.10 a). El segundo punto, se instaló a la mitad del galpón donde también está la electroválvula para su riego, mostrado en las figuras 4.9 y 4.10 b).

El último punto de referencia se encontraba en el extremo final del invernadero, que es la ubicación más alejada, como se muestra en las figuras 4.9 y 4.10 c). Elegimos esta ubicación debido a su mayor distancia con respecto al Gateway, con el propósito de evaluar la conectividad de los dispositivos utilizados y garantizar una comunicación sólida sin pérdida de datos.

Las líneas de visión entre los nodos y el Gateway tienen distancias aproximadas de 160 metros, 200 metros y 250 metros para el último nodo.

Cabe recalcar que en el punto intermedio tenemos lo que es la activación de la electroválvula, esta trabaja mediante un relé, este recibe una señal al momento que la humedad relativa baja del 60 %, enviando un pulso haciendo que se active la electroválvula para que comience con el riego, el cual deja de proporcionar agua al momento de que el sensor capta que la humedad relativa del suelo se encuentra por encima del 75 %, esto se puede visualizar en la figura 4.14 de como se mantendría de forma estable la humedad del suelo de las rosas.

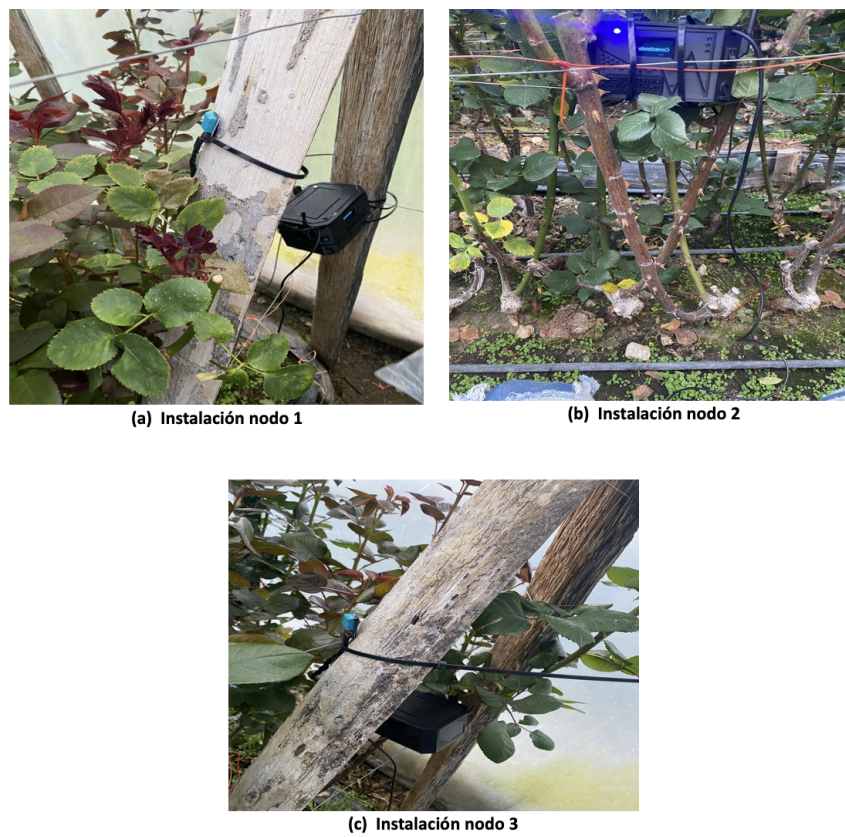


Figura 4.10: Instalación de los Nodos en el invernadero 11 para las Pruebas.

4.4. Recepción de Datos

Dentro de Chirpstack, en la sección *DEVICE DATA* de cada nodo, se puede divisar los datos que son recibidos en la página, como lo observa la figura 4.11. Estos datos provienen de cada nodo y son visibles según el nodo que se encuentre seleccionado en ese momento.

Sep 12 6:58:11 AM	up	917.6 MHz	SF7	BW125	FCnt: 250	FPort: 2	Unconfirmed	▼
Sep 12 6:51:53 AM	up	918 MHz	SF7	BW125	FCnt: 249	FPort: 2	Unconfirmed	▼
Sep 12 6:48:46 AM	up	917 MHz	SF7	BW125	FCnt: 248	FPort: 2	Unconfirmed	▼
Sep 12 6:42:30 AM	up	917.2 MHz	SF7	BW125	FCnt: 246	FPort: 2	Unconfirmed	▼
Sep 12 6:39:24 AM	up	916.8 MHz	SF7	BW125	FCnt: 245	FPort: 2	Unconfirmed	▼
Sep 12 6:36:17 AM	up	918 MHz	SF7	BW125	FCnt: 244	FPort: 2	Unconfirmed	▼
Sep 12 6:33:09 AM	up	917.8 MHz	SF7	BW125	FCnt: 243	FPort: 2	Unconfirmed	▼

Figura 4.11: Datos Visualizados en el Chirpstack.

4.4.1. Análisis de los resultados

En la figura 4.12, se puede contemplar el archivo .json que es el cual registra todos los datos durando cierto periodo de tiempo. En la sección resaltada en rojo, se proporciona información relacionada con el nodo, como el nombre asignado a la aplicación y al nodo, así como las características, como el *devEUI*. En la sección resaltada en el cuadro amarillo, se presentan los datos recopilados en los nodos, que incluyen información sobre la temperatura y la humedad. Estos datos se actualizan con el tiempo y se envían en el formato mostrado después de ser procesados y formateados adecuadamente.

```

"type": "up",
"payload": {
  "applicationID": "25",
  "applicationName": "ROSAS",
  "deviceName": "NOD03",
  "devEUI": "E8GYoN+MGf8=",
  "rxInfo": [
    {
      "gatewayID": "JOEK//71xco=",
      "time": "2023-09-12T12:54:51.758908Z",
      "timeSinceGPSEPOCH": null,
      "rssi": -87,
      "loRaSNR": 13.2,
      "channel": 3,
      "rfChain": 0,
      "board": 0,
      "antenna": 0,
      "location": {
        "latitude": -2.82364,
        "longitude": -78.94333,
        "altitude": 2679,
        "source": "UNKNOWN",
        "accuracy": 0
      },
      "fineTimestampType": "NONE",
      "context": "/9t5Yw==",
      "uplinkID": "5d2oUaVJSbk29JH3WAKECQ==",
      "crcStatus": "CRC_OK"
    }
  ],
  "txInfo": {
    "frequency": 917400000,
    "modulation": "LORA",
    "loRaModulationInfo": {
      "bandwidth": 125,
      "spreadingFactor": 7,
      "codeRate": "4/5",
      "polarizationInversion": false
    }
  },
  "adr": true,
  "dr": 5,
  "fCnt": 267,
  "fPort": 2,
  "data": "//////////yBQ",
  "objectJSON": "{\"Humedad_\":76.36,\"Temperatura_\":24.62,\"temperature\":24.62.5}",
  "tags": {},
  "confirmedUplink": false,

```

Figura 4.12: Datos descargados en Archivo .json.

En este punto, se presentan los datos de temperatura registrados durante un período específico. Se realizaron cuatro mediciones por cada hora, desde las 9:00 hasta las 14:00. En estas mediciones, se puede observar un aumento gradual en la temperatura a medida que transcurren las horas. Esto se debe al efecto de la exposición directa al sol, que incrementa el rango de temperatura de manera progresiva a medida que este se encuentra en su punto más alto. Como se puede observar en la figura 4.13.

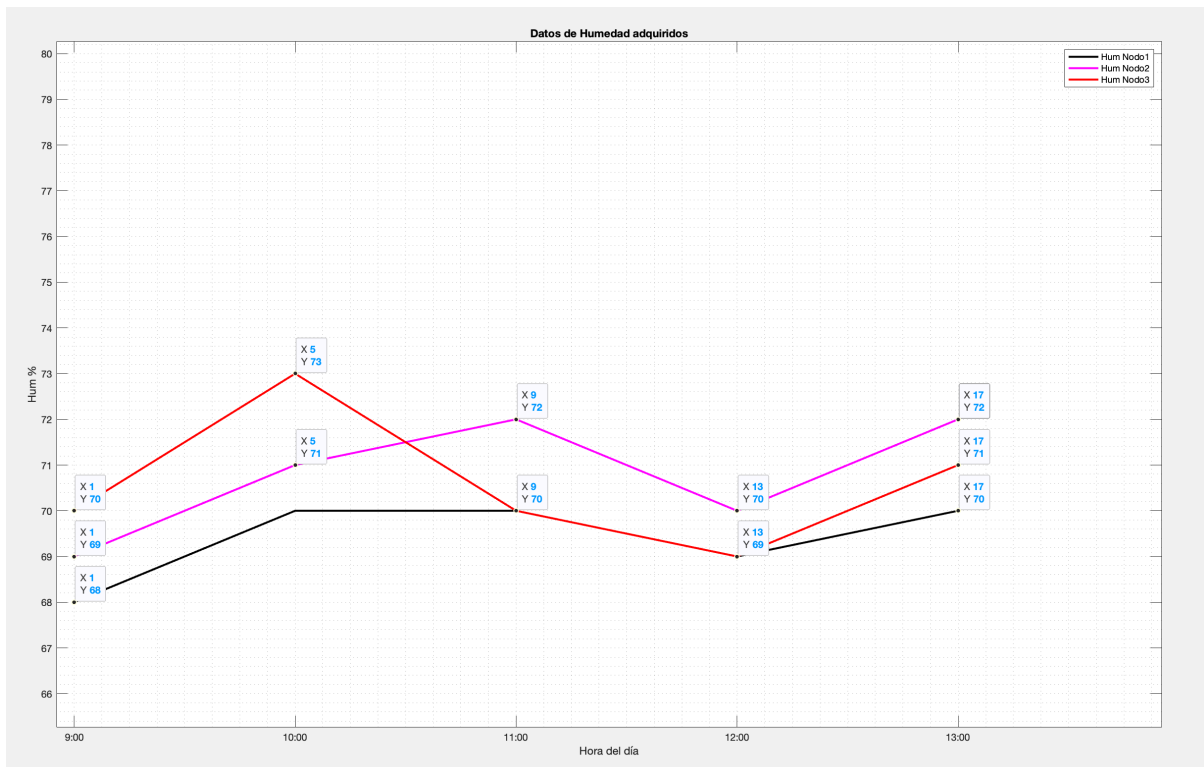


Figura 4.13: Tasa de Evaluación de la Temperatura

En este caso, se observa el comportamiento de la humedad en el invernadero. Es importante tener en cuenta que en un invernadero, la humedad relativa ideal se sitúa generalmente entre el 60 % y el 75 %. El análisis de la humedad se llevó a cabo de manera similar a la temperatura. Sin embargo, en este caso, se lograron niveles más estables debido al trabajo realizado con la electroválvula. Esta intervención permitió mantener la humedad relativa dentro del rango óptimo, asegurando así condiciones adecuadas para el cultivo. Los valores obtenidos para la Humedad se pueden observar en la figura 4.14.

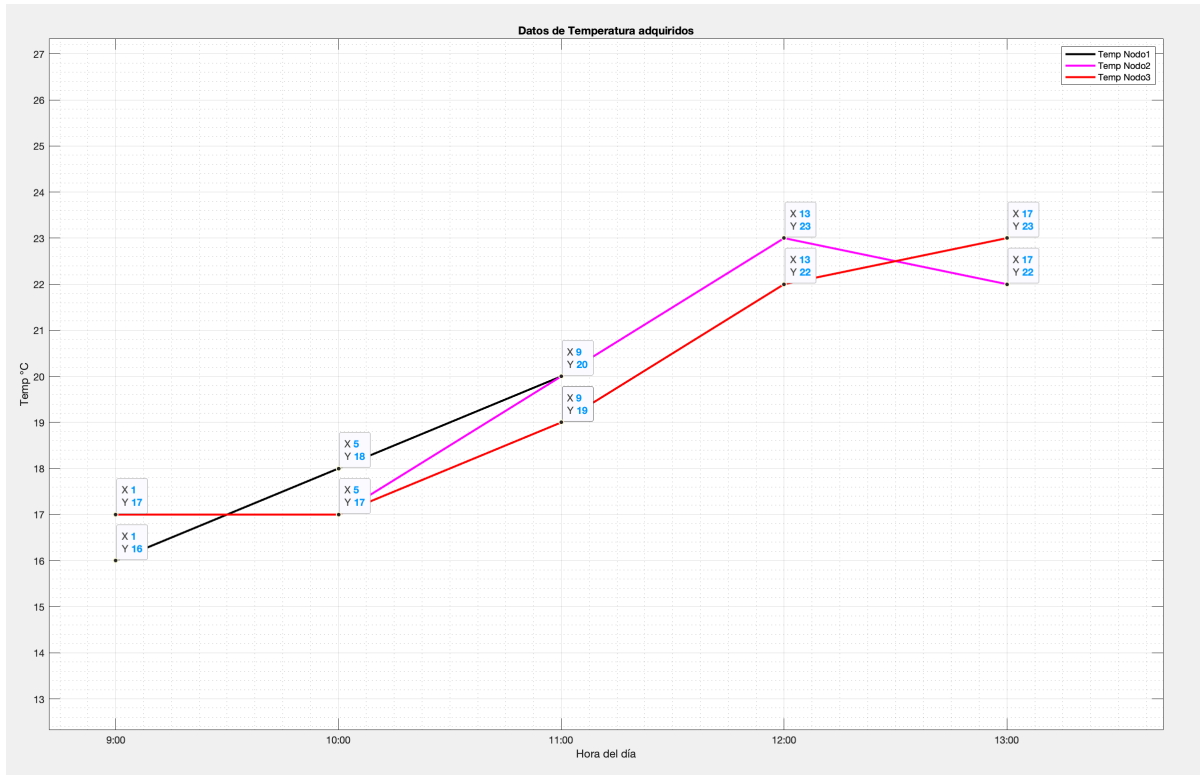


Figura 4.14: Tasa de Evaluación de la Humedad

En las Tablas 4.1, 4.2 y 4.3 se presentan los datos obtenidos de los tres nodos durante un periodo de 3 días. Estas mediciones se realizaron promediando los valores recogidos de todos los nodos, desde las 9:00 hasta las 14:00 horas.

Tabla 4.1: Datos del Nodo 1

DATOS	NODO 1								
TEMPERATURA	16°C	17°C	18°C	18°C	19°C	20°C	20°C	23°C	24°C
HUMEDAD	68 %	68 %	69 %	70 %	69 %	70 %	69 %	70 %	69 %

Tabla 4.2: Datos del Nodo 2

DATOS	NODO 2								
TEMPERATURA	17°C	17°C	16°C	17°C	18°C	19°C	19°C	20°C	21°C
HUMEDAD	68 %	71 %	72 %	73 %	72 %	71 %	72 %	71 %	71 %

Tabla 4.3: Datos del Nodo 3

DATOS	NODO 3								
TEMPERATURA	17°C	16°C	16°C	16°C	17°C	18°C	18°C	19°C	20°C
HUMEDAD	68 %	68 %	69 %	70 %	70 %	71 %	72 %	71 %	72 %

Capítulo 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se logró desarrollar un sistema de Riego Inteligente basado en el internet de las cosas(IoT) para el cultivo de rosas.
- Se realizó la incorporación de los sensores de temperatura, humedad en conjunto con la electroválvula para que esta funcione de manera automática para el riego de los cultivos de las rosas.
- Este sistema de riego basado en IoT que utiliza sensores de temperatura y humedad permite una gestión más precisa del riego. Los sensores pueden proporcionar datos en tiempo real sobre las condiciones ambientales del invernadero, lo que permite ajustar la cantidad y el momento del riego de manera óptima. Esto ayuda a prevenir la hiper-hidratación o la deshidratación del suelo de cultivos de rosas, lo que puede mejorar significativamente su salud y floración.
- La capacidad de monitorear de cerca las condiciones ambientales con sensores IoT puede conducir a un uso más eficiente de los recursos hídricos. Al adaptar el riego a las necesidades específicas del cultivo en función de la temperatura y la humedad, se puede reducir el desperdicio de agua y la energía utilizada para

su respectivo riego. Esto no solo es beneficioso para el cultivo de rosas, sino que también contribuye a la conservación de recursos naturales importantes.

- Los sensores de temperatura y humedad también pueden servir como herramientas de detección temprana de problemas en el cultivo. Si las condiciones se desvían de los valores ideales, el sistema de IoT puede hacer que tomen medidas correctivas los agricultores. Esto puede ayudar a prevenir enfermedades, estrés por calor o condiciones adversas antes de que causen daños significativos a las rosas, lo que puede ahorrar tiempo y recursos.
- Se observó que la inversión inicial en tecnología IoT puede ser sustancial, a largo plazo, un sistema de riego inteligente tiene el potencial de disminuir los gastos operativos al reducir el desperdicio de agua y la necesidad de una supervisión constante del cultivo. Esto se logra mediante la monitorización del cultivo de rosas.

Recomendaciones

- Es importante considerar los canales que se utilizarán para transmitir los datos, ya que si alguno de estos canales está mal configurado o entra en conflicto con la frecuencia de otros nodos, podría haber interferencia en la información. Esto podría resultar en datos incorrectos llegando al Chirpstack de forma distorsionada. Además, debemos tener en cuenta qué tipo de frecuencia utilizar según la región en la que nos encontramos para configurar adecuadamente los nodos.
- Es fundamental conocer el consumo de corriente de cada uno de los dispositivos que se utilizarán. Esto nos permitirá seleccionar baterías adecuadas que puedan alimentar los nodos de manera óptima durante un período prolongado.
- Basándonos en los resultados obtenidos, se recomienda ubicar el Gateway en una posición elevada. Esto asegurará una transmisión más efectiva de los datos, ya que se beneficiarán de una línea de visión más directa.

Glosario

APP KEY Interfaz de programación de aplicación – Application programming interfaces .

CPU Unidad central de procesamiento – Central Processing Unit.

GSM Sistema Global para las Comunicaciones Móviles – Global System For Mobile Communication.

IoT Internet de las cosas – Internet of Things.

IP Protocolo de Internet – Protocol Internet .

LoRa De largo alcance – Long Range.

LTE Evolución a largo plazo – Long-Term Evolution.

OLED Diodo orgánico emisor de luz – Organic light emitting diode.

OTAA Por el aire – Over the Air .

WSN Red de Sensores Inalámbricos – Wireless Sensor Networks.

Referencias

- [1] M. Erazo, D. Rivas, M. Pérez et al., «Design and implementation of a wireless sensor network for rose greenhouses monitoring,» en *2015 6th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA)*, IEEE, 2015, págs. 256-261.
- [2] J. P. Albarico, G. R. F. La Rosa, R. A. D. Santos, A. J. M. Tesorero, M. S. A. Magboo y V. P. C. Magboo, «Roses Greenhouse Cultivation Classification Using Machine Learning Techniques,» *Procedia Computer Science*, vol. 218, págs. 2163-2171, 2023.
- [3] J. C. Guillermo, A. García-Cedeño, D. Rivas-Lalaleo, M. Huerta y R. Clotet, «Iot architecture based on wireless sensor network applied to agricultural monitoring: A case of study of cacao crops in ecuador,» en *Advances in Information and Communication Technologies for Adapting Agriculture to Climate Change II: Proceedings of the 2nd International Conference of ICT for Adapting Agriculture to Climate Change (AACC'18), November 21-23, 2018, Cali, Colombia*, Springer, 2019, págs. 42-57.
- [4] J. Abad, J. Farez, P. Chasi et al., «Coffee crops variables monitoring: a case of study in Ecuadorian Andes,» en *Advances in Information and Communication Technologies for Adapting Agriculture to Climate Change II: Proceedings of the 2nd International Conference of ICT for Adapting Agriculture to Climate Change (AACC'18), November 21-23, 2018, Cali, Colombia*, Springer, 2019, págs. 202-217.
- [5] F. SichiQUI, J. G. Huilca, A. García-Cedeño et al., «Agricultural information management: A case study in corn crops in Ecuador,» en *Advances in Emerging Trends and Technologies: Volume 1*, Springer, 2020, págs. 113-124.
- [6] M. D. Cahn y L. F. Johnson, «New approaches to irrigation scheduling of vegetables,» jun. de 2017. DOI: 10.3390/horticulturae3020028.

- [7] L. Fernandez, M. Huerta, G. Sagbay, R. Clotet y A. Soto, «Sensing climatic variables in a orchid greenhouse,» en *2017 International Caribbean Conference on Devices, Circuits and Systems (ICCDACS)*, IEEE, 2017, págs. 101-104.
- [8] L.-B. Chen, G.-Z. Huang, X.-R. Huang y W.-C. Wang, «A Self-Supervised Learning-Based Intelligent Greenhouse Orchid Growth Inspection System for Precision Agriculture,» *IEEE Sensors Journal*, vol. 22, n.º 24, págs. 24 567-24 577, 2022.
- [9] R. Horton, E. Cano, D. Bulanon y E. Fallahi, «Peach flower monitoring using aerial multispectral imaging,» *Journal of Imaging*, vol. 3, n.º 1, pág. 2, 2017.
- [10] Q. Lin, W. Zhou, P. Li, H. Xie y R. Su, «Smart Flower Cultivation System,» en *Advances in Intelligent Automation and Soft Computing*, Springer, 2022, págs. 40-47.
- [11] M. S. Raid, «UNIVERSIDAD DE CALIFORNIA, DAVIS, CA, 95616, EEUU,»
- [12] M. Shishkova, B. Ivanova, R. Beluhova-Uzunova y A. Harizanova, «Opportunities and challenges for sustainable production and processing of Rosa damascena in Bulgaria,» *Industrial Crops and Products*, vol. 186, pág. 115 184, 2022.
- [13] K. Obaideen, B. A. Yousef, M. N. AlMallahi et al., «An overview of smart irrigation systems using IoT,» *Energy Nexus*, pág. 100 124, 2022.
- [14] A. I. Khan, F. Alsolami, F. Alqurashi, Y. B. Abushark e I. H. Sarker, «Novel energy management scheme in IoT enabled smart irrigation system using optimized intelligence methods,» *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 114, pág. 104 996, 2022.
- [15] A. Hadidi, D. Saba e Y. Sahli, «Smart irrigation system for smart agricultural using IoT: concepts, architecture, and applications,» *The digital agricultural revolution: innovations and challenges in agriculture through technology disruptions*, págs. 171-198, 2022.
- [16] *Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. International Food Policy Research Institute, 2009. DOI: 10.2499/0896295370.
- [17] J. P. C. Caiza y R. T. B. Rodríguez, «Cambio climático y sistemas de producción agroecológico, orgánico y convencional en los cantones Cayambe y Pedro Moncayo,» *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, págs. 149-166, 29 mar. de 2021. DOI: 10.17141/letrasverdes.29.2021.4751.

- [18] C. O'sullivan, G. Bonnett, C. McIntyre, Z Hochman y A. Wasson, «Strategies to improve the productivity, product diversity and profitability of urban agriculture,» *Agricultural Systems*, vol. 174, págs. 133-144, 2019.
- [19] G Oussama, A Rami, F Tarek, A. S. Alanazi y M Abid, «Fast and intelligent irrigation system based on WSN,» *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2022, 2022.
- [20] J. L. Ortiz, C. Aceres, I. D. Fernando y Q. Peralta, «UNIVERSIDAD POLITÉCNICAPOLIT´POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIER´IAINGENIER´INGENIER´IA DE SISTEMAS TUTOR.»
- [21] E. Gesto, K. Hallar, L. Gonzalez et al., «Avances en el desarrollo de un sistema de Monitoreo y Control de un Módulo de Producción de Cultivos Hidropónicos para regiones de latitudes elevadas 1.»
- [22] P. A. A. Título, E. María y H. Sanz, «ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN UNIVERSIDAD DE CANTABRIA Proyecto Fin de Grado Desarrollo de un Sistema de monitorización y control de un invernadero aplicando Tecnología IoT (Development of a monitoring and control System for a greenhouse applying IoT Technology).»
- [23] Ekos Negocios, *Ecuador es el tercer exportador mundial de flores*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, 2019. dirección: <https://ekosnegocios.com/articulo/ecuador-es-el-tercer-exportadormundial-de-flores>.
- [24] Agrocalidad, *8 millones de cajas de flores y follajes de ornamentales ecuatorianas se exportaron en el 2021*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, 2022. dirección: <https://www.agrocalidad.gob.ec/8-millones-de-cajas-de-flores-yfollajes-de-ornamentales-ecuatorianas-se-exportaron-en-el-2021/>.
- [25] Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca del Ecuador, *Rosas ecuatorianas sin arancel a EE. UU.* Accedido el 13 de septiembre de 2023, 2020. dirección: <https://www.produccion.gob.ec/rosas-sin-arancel-a-eeuu/>.
- [26] Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, *Exportaciones de rosas y su incidencia en el sector florícola*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, 2022. dirección: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5488>.

- [27] PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR-MATRIZ, *PROPUESTA DE NORMA TÉCNICA DE CALIDAD PARA LA PRODUCCIÓN Y EXPORTACIÓN DE ROSAS A LOS PRINCIPALES SOCIOS COMERCIALES DE ECUADOR EN LA UNIÓN EUROPEA (ALEMANIA, ESPAÑA, ITALIA, HOLANDA)*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, 2017. dirección: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/14146>.
- [28] eYouAgro, *Cómo Plantar Rosas en un Invernadero*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://es.eyouagro.com/blog/planta-rosa-en-invernadero/>.
- [29] Agropinos, *Tipos y Funcionalidades de los Sistemas de Riego*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://www.agropinos.com/blog/tipos-y-funcionalidades-de-los-sistemasde-riego>.
- [30] NovaGric, *Invernaderos para Rosas*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://www.novagric.com/es/invernaderos-rosas#:~:text=Temperatura%20m%C3%ADnima%20vegetativa%20de%2015%C2%BAC,nivel%20de%20luz%20mayor%20producci%C3%B3n..>
- [31] DryGair, *Optimal Humidity and Temperature in the Greenhouse*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://drygair.com/es/blog-es/optimal-humidity-temperature-greenhouse/>.
- [32] SCIMAGO INSTITUTIONS RANKINGS, *Uso eficiente del agua para el cultivo de rosa cv. Freedom bajo invernadero*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, 2013. dirección: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/sxF4hx65FhHtkf7SyqVYZnw/#..>
- [33] Agrokrebs, *Requerimientos edafoclimaticos del cultivo de rosas*. Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://agroshow.info/agroexponente/agrokrebs/>.
- [34] Banco Mundial, *Water in Agriculture*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture#1>.
- [35] iAgua, *El consumo mundial de agua aumenta la frecuencia y la intensidad de los caudales mínimos en ríos*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, 2014. dirección: <https://www.iagua.es/noticias/ue/14/01/16/el-consumo-mundial-de-aguaaumenta-la-frecuencia-y-la-intensidad-de-los-caudales-minimos-en-rios-y-a43563>.

- [36] iAgua, «El consumo mundial de agua aumenta la frecuencia y la intensidad de los caudales mínimos en ríos,» 2014, Accedido el 13 de septiembre de 2023. dirección: <https://www.iagua.es/noticias/ue/14/01/16/el-consumo-mundial-de-aguaaumenta-la-frecuencia-y-la-intensidad-de-los-caudales-minimos-en-rios-y-a43563>.
- [37] SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, *La Calidad del Agua para Riego*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://www.sabspa.com/es/la-calidad-del-agua-para-riego/>.
- [38] Esfera del Agua, *Uso del Agua en Agricultura de Riego y la Investigación Pública*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://www.esferadelagua.es/ciencia-y-agua/uso-del-agua-enagricultura-de-regadio-y-investigacion-publica>.
- [39] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), *Título del Capítulo*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP5.pdf>.
- [40] X. M. García, A. Caamal, B. Ku-Ku et al., «La agricultura campesina de los mayas en Yucatán,» *LEISA Revista de Agroecología*, vol. 19, n.º 7, págs. 7-17, 2003.
- [41] Fundación Aquae, *Tipos de Riego*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://www.fundacionaquae.org/wiki/tipos-de-riego/>.
- [42] Fundacion Universitaria San Mateo, *Tecnología internet of things (IoT) y el big data*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, 2019. dirección: <https://cipres.sanmateo.edu.co/ojs/index.php/mi/article/view/183>.
- [43] Oracle, *¿Qué es IoT (Internet de las Cosas)?* Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://www.oracle.com/ar/internet-of-things/what-is-iot/>.
- [44] SAP, *¿Qué es IoT (Internet de las Cosas)?* Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://www.sap.com/latinamerica/products/artificial-intelligence/whatis-iot-internet-of-things.html>.

- [45] Arturo Tavizon-Salazar, *IOT, el internet de las cosas y la innovación de sus aplicaciones*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, 2018. dirección: https://zbook.org/read/82554_iot-el-internet-de-las-cosas-y-lainnovaci-n-de-sus.html.
- [46] Jerson Jesus Saavedra, *Aplicaciones y beneficios IOT como alternativa en el gobierno TI: Revisión sistemática de literatura*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, 2018. dirección: http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-87522023000100120.
- [47] Francisco Javier Flores Zermeño, *Aplicaciones, enfoques y tendencias del Internet de las Cosas (IoT): revisión sistemática de la literatura*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, 2018. dirección: <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1020/543>.
- [48] Lanner America, *5G y la IoT de Agricultura Inteligente: Promesa de Hacer que el Mundo Vuelva a Ser Verde*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://www.lanner-america.com/es/blog-es/5g-y-la-iot-de-agricultura-inteligente-promesa-de-hacer-que-el-mundo-vuelva-a-ser-verde/>.
- [49] M. K. Huerta, A. García-Cedeño, J. C. Guillermo y R. Clotet, «Wireless sensor networks applied to precision agriculture: A worldwide literature review with emphasis on latin america,» *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, vol. 9, n.º 4, págs. 209-222, 2021.
- [50] Red Hat, *¿Qué es IoT (Internet de las Cosas)?* Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://www.redhat.com/es/topics/internet-of-things/what-is-iot>.
- [51] Alai Secure, *LoRa: ¿Qué es y para qué sirve?* Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://alaisecure.es/glosario/lora-que-es-y-para-que-sirve/>.
- [52] R. S. Sinha, Y. Wei y S.-H. Hwang, «A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT,» *Ict Express*, vol. 3, n.º 1, págs. 14-21, 2017.
- [53] Alai Secure, *LoRa: ¿Qué es y para qué sirve?* Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://alaisecure.pe/glosario/lora-que-es-y-para-que-sirve/>.

- [54] s. e. d. Autor o Autores, *Will 2020 Be the Year of LoRa Networks?* Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://embeddedcomputing.com/application/networking-5g/lp-wan/will-2020-be-the-year-of-lora-networks>.
- [55] Amazon Web Services, *¿Qué es AWS?* Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://aws.amazon.com/es/what-is-aws/>.
- [56] Adictec, *Todo sobre Amazon Web Services*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://adictec.com/todo-sobre-amazon-web-services/>.
- [57] ChirpStack, *Documentación de ChirpStack*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://www.chirpstack.io/docs/>.
- [58] A. E. C. Y. CRISTINA VALERIA CALLE SARMIENTO, *DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA SUPERVISIÓN DE LA NUTRICIÓN DEL SUELO EN UN CULTIVO DE ROSAS BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS*, 2022. dirección: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23816/1/UPS-CT010198.pdf>.
- [59] Heltec Automation, *Página de Descripción de CubeCell*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://heltec.org/cubecell-overview/>.
- [60] Nettigo, *Heltec CubeCell HTCC-AB01 LoRa 433 MHz Development Board*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://nettigo.eu/products/heltec-cubecell-htcc-ab01-lora-433-mhz-development-board>.
- [61] A. Corvis, *Página de Heltec CubeCell*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://alexcorvis.cc/heltec-cubecell/>.
- [62] Naylamp Mechatronics, *Sensor de Temperatura y Humedad Relativa - DHT11*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/57-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht11.html>.
- [63] HetPro Store, *Tutorial de Sensor DHT11*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/sensor-dht11/>.

- [64] Dynamo Electronics, *DHT11 - Sensor de Temperatura y Humedad en Board*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://www.dynamoelectronics.com/tienda/dht11-sensor-de-temperatura-y-humedad-en-board/>.
- [65] Grupo ElectroStore, *Módulo Sensor de Humedad de Suelo HD-38 - Higrómetro Anticorrosivo*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://grupoelectrostore.com/shop/sensores/temperatura/modulo-sensor-de-humedad-de-suelo-hd-38-higrometro-anticorrosivo/>.
- [66] Mecabot, *Módulo de Humedad del Suelo HD-38*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://mecabot.com/producto/modulo-de-humedad-del-suelo-hd-38/>.
- [67] Robots Argentina, *Convertidor de Voltaje MT3608*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://robots-argentina.com.ar/didactica/convertidor-de-voltaje-mt3608/>.
- [68] Grupo Electrostore, *Módulo Elevador de Voltaje 2A MT3608 Ajustable Step-Up Boost*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://grupoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/reguladores-de-voltaje/modulo-elevador-de-voltaje-2a-mt3608-ajustable-step-up-boost/>.
- [69] Aranacorp, *Usando una Pantalla OLED con Arduino*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://www.aranacorp.com/es/usando-una-pantalla-oled-con-arduino/>.
- [70] Novatronicec, *Pantalla LCD OLED Azul 128x64 0.96" I2C*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://novatronicec.com/index.php/product/pantalla-lcd-oled-azul-128x64-0-96-i2c/>.
- [71] Novatronicec, *Módulo de Carga para Batería LiPo con Protección de Corriente MicroUSB 1A*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://novatronicec.com/index.php/product/tp4056-modulo-de-carga-para-bateria-lipo-con-proteccion-de-corriente-microusb-1a/>.
- [72] Grupo Electrostore, *Módulo TP4056 5V Micro USB 1A Cargador para Baterías de Litio con Protección*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://grupoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/cargadores->

- para-baterias/modulo-tp4056-5v-micro-usb-1a-cargador-para-baterias-litio-con-proteccion/.
- [73] SolectroShop, *Guía para Principiantes sobre Módulos de Relés en Proyectos de Arduino*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://solectroshop.com/es/blog/guia-para-principiantes-sobre-modulos-de-reles-en-los-proyectos-de-arduino-n28#:~:text=Un%20m%C3%B3dulo%20de%20rel%C3%A9%20es,pines%20presentes%20en%20el%20m%C3%B3dulo..>
- [74] Distritec, *¿Qué es una Electroválvula y Para Qué Sirve?* Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://www.distritec.com.ar/que-es-una-electrovalvula-y-para-que-sirve/>.
- [75] Novatronic EC, *Electroválvula 1/2 Plg 12VDC*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://novatronicec.com/index.php/product/electrovalvula-1-2-plg-12vdc/>.
- [76] TuVoltio, *Fuente SW 12V 5A Metálica Nacional*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://www.tuvoltio.com/categorias/97-fuentes-y-adaptadores-ac-dc/11077-fuente-sw-12v-5a-metalica-nacional>.
- [77] Milesight IoT, *Producto de Milesight IoT (Agrega el nombre del producto si está disponible)*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://www.directindustry.es/prod/milesight-iot/product-204565-2361243.html>.
- [78] IoT Store, *Milesight UG67 Outdoor LoRaWAN Gateway*, Accedido el 13 de septiembre de 2023, Año de Publicación, si está disponible. dirección: <https://www.iot-store.com.au/products/milesight-ug67-outdoor-lorawan-gateway>.
- [79] C. V. Calle Sarmiento y A. E. Chacha Yumbla, «Diseño de un sistema para la supervisión de la nutrición del suelo en un cultivo de rosas basado en internet de las cosas,» B.S. thesis, 2022.